物理大辭典

十一畫～十二畫

人文出版社印行

物理大辭典

十一畫～十二畫

人文出版社印行



中華民國七十四年五月再版

物理大辭典

主　編：段　　木　　干
編　輯：本　社　編　委　會
出版者：人文出版社有限公司
社　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　話：二五一八八八八號
郵　撥：〇〇二八〇〇〇一七號
登記證字號：局版台業字一三三二號
發行人：段　　鏡
住　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　話：二五一八八八八號
印刷廠：三興彩色印刷廠
地　址：台中市健行路八五六號
電　話：三一八五六二號

編 輯 大 意

一、二十世紀物理學的驚人發展，已改變了全體人類的生活。因此，我們博採舉凡有關物理的一切名詞、概念和現象，言簡意賅的加以說明，彙成本辭典，提供給學術界和社會人士，作爲參攷查閱之用。

二、全書共六千餘頁，約八百萬字，二十四開大本，精裝九册。內容豐富，編校審愼，是我國目前唯一一部取材最龐大、收錄最完全的物理大辭典。

三、本辭典係依每一名詞起首文字之中文筆畫多少，定爲先後順序，幷採用科學方法編排，檢校查攷，極爲便利。書前列有物理學概論，簡介物理學的發展小史及其主要內容，期使讀者能獲得基本而有系統的物理常識。書後列有附錄多種，諸如實驗法則與實驗方法、物理標準和物理常數、力和運動、熱學、聲學、光學、電磁學以及高能物理、量子物理、太空科學等等，重要資料，應有盡有。

四、本書名詞，採用民國六十年國立編譯館新編訂之物理學名詞爲主。書後編有英文索引一册，可以中英對照，互相查攷。

五、科學的專門名詞，日日見增，而一部精良的工具書，實可使學術研究工作，收到事半功倍之效。是以本辭典係應當前社會之需；惟因付梓匆促，誤漏在所難免，尙祈學者不吝敎正。

編　者

六十三年春

物 理 大 辭 典

總 目 次

1畫～ 4畫 ………… 第一冊

5畫～ 6畫 ………… 第二冊

7畫～ 8畫 ………… 第三冊

9畫～10畫 ………… 第四冊

11畫～12畫 ………… 第五冊

13畫～14畫 ………… 第六冊

15畫～28畫 ………… 第七冊

其　　他 ………… 第七冊

附　　錄 ………… 第八冊

英文索引 ………… 第九冊

第 五 冊 目 次

十一畫 ………… 2700～3000

十二畫 ………… 3001～3516

物理大辭典

十一畫

乾冰 (*Dry ice*) …… 2700

乾式硒整流器 (*Dry selenium rectifier*) …… 2700

乾空氣 (*Dry air*) …… 2700

乾電池 (*Dry cell*) …… 2700

乾電池組 (*Dry battery*) …… 2701

乾電解質電容器 (*Dry electrolytic capacitor*) …… 2701

乾電解質整流器 (*Dry electrolytic rectifier*) …… 2701

乾態臨界 (*Dry criticality*) …… 2701

乾燥空氣斷熱溫度直減率 (*Dry adiabatic lapse rate*) …… 2701

乾濕球濕度計 (*Psychrometer*) …… 2701

偏向 (*Variation ; Deviation*) …… 2701

偏向角 (*Angle of deviation*) …… 2702

偏向屏 (*Deflecting plates*) …… 2702

偏差 (*Deviation ; Declination*) …… 2702

偏差比 (*Deviation ratio*) …… 2702

偏振 (*Polarization*) …… 2702

偏振片 (*Polaroid sheet*) …… 2703

偏振平面 (*Plane of polarization*) …… 2703

偏振光 (*Polarized light*) …… 2703

偏振光光源 (*Sources of polarized light*) …… 2704

偏振光鏡 (*Polariscope*) …… 2705

偏振角 (*Angle of polarization*) …… 2705

偏振計 (*Polarimeter*) …… 2705
偏振顯微鏡 (*Polarized microscope*) …… 2707
偏蝕 (*Partial eclipses*) …… 2708
偏壓 (*Bias*) …… 2708
偏壓電池 (*Bias cell*) …… 2708
偏壓電阻 (*Biasing resistor*) …… 2708
停放軌道 (*Parking orbit*) …… 2708
停留時間 (*Residence time*) …… 2709
健康物理學 (*Health physics*) …… 2709
健康物理學家 (*Health physicist*) …… 2709
假力 (*Pseudo force ; Fictitious force*) …… 2709
假地迴路 (*Ground-return circuit*) …… 2710
假純量粒子 (*Pseudoscalar particle*) …… 2710
假琥珀 (*Ambroin*) …… 2710
假琥珀膠 (*Ambroin cement*) …… 2710
假說 (*Hypothesis*) …… 2710
假體 (*Phantom*) …… 2711
偶奇核 (*Even-odd nucleus*) …… 2711
偶偶核 (*Even-even nucleus*) …… 2711
偶然球型陀螺 (*Accidentally spherical tops*) …… 2711
偶然簡併性 (*Accidental degeneracy*) …… 2711
偶極 (*Dipole*) …… 2711
偶極輻射器 (*Dipole radiator*) …… 2712
偶數諧波 (*Even harmonic*) …… 2713
剪力 (*Shear*) …… 2713
剪切波 (*Shear wave*) …… 2713

剪波級　(*Clipper stage*) ……2713
剪應力　(*Shearing stress*) ……2713
剪應變　(*Shear strain*) ……2713
副日點　(*Subsolar point*) ……2713
副波天線　(*Harmonic antenna*) ……2714
副產物料　(*By-product material*) ……2714
副軸　(*Secondary axis*) ……2714
副電流　(*Secondary current*) ……2714
副線圈　(*Secondary coil*) ……2715
副衛星點　(*Subsatellite point*) ……2715
勒克司　(*Lux*) ……2715
勒克朗社電池　(*Leclanche cell*) ……2715
勒沙特列原理　(*Le Chatelier principle*) ……2715
勒諾定律　(*Regnault's law*) ……2716
勒壤得方程式　(*Legendre equation*) ……2716
勒壤得多項式　(*Legendre polynomials*) ……2716
動力　(*Power*) ……2717
動力反應器　(*Power reactor*) ……2718
動力平衡　(*Kinetic equilibrium*) ……2718
動力式傳聲器　(*Dynamic microphone*) ……2718
動力式揚聲器　(*Dynamic loudspeaker*) ……2718
動力供應器　(*Power supplier*) ……2719
動力脫羈　(*Excursion*) ……2719
動力對稱性　(*Dynamical symmetry*) ……2719
動力論　(*Kinetic theory*) ……2721
動力摩擦　(*Dynamical friction*) ……2721

動力學 (*Dynamics*) …… 2721
動力學、運動學與靜力學 (*Dynamics, Kinematics and Statics*) …… 2722
動力學方程式、動力態和力學變數 (*Dynamical equation, Dynamical state and Dynamical variable*) 2722
動力學原理 (*Principle of dynamics*) …… 2724
動子 (*Rotor*) …… 2724
動片 (*Rotor plate*) …… 2724
動升力與靜升力 (*Dynamic lift and static lift*) …… 2724
動浮力 (*Dynamical buoyancy*) …… 2725
動徑 (*Radius vector*) …… 2725
動能 (*Kinetic energy*) …… 2725
動圈式揚聲器 (*Moving coil loudspeaker*) …… 2727
動圈式微音器 (*Moving coil microphone*) …… 2727
動場 (*Dynamic field*) …… 2728
動量 (*Momentum*) …… 2728
動量不滅定律 (*Law of conservation of momentum*) …… 2729
動量流密度 (*Momentum current density*) …… 2729
動量矩 (*Moment of momentum*) …… 2730
動量矩不滅定律 (*Law of conservation of moment momentum*) …… 2730
動量算符 (*Momentum operator*) …… 2730
動電 (*Dynamic electricity*) …… 2731
動電互導試驗 (*Dynamic transconductance test*) …… 2731
動電效應 (*Electrokinetic effect*) …… 2731
動滑輪 (*Movable pully*) …… 2731

動態平衡　(*Dynamic equilibrium*) ………… 2732
動態散射　(*Dynamic scattering*) ………… 2733
動態極化係數　(*Dynamic polarizability*) ………… 2734
動摩擦　(*Kinetic friction*) ………… 2735
動摩擦力　(*Kinetic frictional force*) ………… 2736
動摩擦係數　(*Coefficient of kinetic friction*) ………… 2736
動壓力　(*Kinetic pressure*) ………… 2737
動鐵式電流表　(*Moving iron ammeter*) ………… 2737
參考坐標系　(*Frame of reference*) ………… 2737
參量激勵　(*Parameter excitation*) ………… 2738
參數　(*Parameter*) ………… 2738
曼得士坦變數　(*Mandelstam variables*) ………… 2739
圈轉電流計　(*Moving coil galvanometer*) ………… 2739
圈轉磁強計　(*Moving coil magnetometer*) ………… 2740
國際日線　(*International date line*) ………… 2741
國際伏特　(*International V ; Legal volt*) ………… 2741
國際安培　(*International ampere ; Legal ampere*) ………… 2741
國際地球物理學年　(*International geophysical year*) ………… 2741
國際度量衡　(*Metric system*) ………… 2742
國際單位　(*International units*) ………… 2742
國際單位制　(*International system of units*) ………… 2743
國際莫司電碼　(*International Morse code*) ………… 2743
國際溫標　(*International temperature scale*) ………… 2743
國際歐姆　(*International ohm ; Legal ohm*) ………… 2744
國際標準大氣　(*International standard atmosphere*) ………… 2744
執照物料　(*Licensed material*) ………… 2744

堆 (*Pile*) …… 2744
堆集瑕疵 (*Stacking faults*) …… 2745
培根 (*Roger Bacon* 1214—1292) …… 2745
基本力 (*Fundamental force*) …… 2745
基本交流阻抗 (*Fundamental alternating impedance*) …… 2746
基本金屬 (*Base metal*) …… 2746
基本粒子 (*Elementary particle ; Fundamental particle*) …… 2746
基本粒子物理學 (*Elementary particle physics*) …… 2753
基本粒子之量子數 (*Quantum number of elementary particle*) …… 2754
基本量 (*Fundamental quantity*) …… 2754
基本單位 (*Fundamental unit*) …… 2755
基本晶體接收機 (*Fundamental crystal receiver*) …… 2756
基本電荷 (*Elementary charge*) …… 2757
基本質點 (*Fundamental particle*) …… 2757
基音 (*Fundamental tone*) …… 2757
基極 (*Base*) …… 2757
基極接地式放大器 (*Base grounded amplifier*) …… 2757
基極偏壓 (*Base bias*) …… 2757
基極電流 (*Base current*) …… 2757
基準溫標 (*Basic scale of temperature*) …… 2757
基態 (*Ground state*) …… 2758
基線 (*Base line*) …… 2758
基線系 (*Fundamental series*) …… 2758
基諧波頻率 (*Fundamental frequency*) …… 2758

基點 (*Cardinal points*) …… 2758
密立坎 (*Robert Andrews Millikan* 1868—1953) …… 2759
密立坎油滴實驗 (*Millikan's oil-drop experiment*) …… 2759
密耳 (*Mil*) …… 2761
密耳呎 (*Mil-foot*) …… 2761
密合近似法 (*Tight binding approximation*) …… 2761
密度 (*Density*) …… 2761
密度矩陣 (*Density matrix*) …… 2762
密集狀態 (*Condensed state*) …… 2762
寄生天線 (*Parasitic antenna ; Parasitic aerial*) …… 2762
寄生抗流線圈 (*Parasitic choke coil*) …… 2762
寄生捕獲 (*Parasitic capture*) …… 2762
寄生振盪 (*Parasitic oscillation*) …… 2762
寄生振盪遏止器 (*Parasitic suppressor*) …… 2764
寄生電流 (*Parasitic current*) …… 2764
寄生電容 (*Parasitic capacity*) …… 2764
寄生電感 (*Parasitic inductance*) …… 2764
寂靜區 (*Zone of silence*) …… 2764
屏內阻 (*Internal resistance of plate*) …… 2764
屏負荷阻抗 (*Plate load impedance*) …… 2765
屏柵電容 (*Plate grid capacitance*) …… 2765
屏極 (*Plate*) …… 2765
屏極反應 (*Anode reaction*) …… 2765
屏極功力效率 (*Plate power efficiency*) …… 2766
屏極加鍵 (*Plate keying*) …… 2766
屏極供給 (*Plate supply*) …… 2766

屏極阻抗 (*Plate impedance*) …… 2766
屏極負荷 (*Plate load*) …… 2766
屏極峯反壓 (*Peak inverse anode voltage*) …… 2766
屏極峯壓 (*Peak forward anode voltage*) …… 2766
屏極特性 (*Plate characteristic*) …… 2766
屏極效率 (*Plate efficiency*) …… 2766
屏極旁路電容器 (*Plate by-pass capacitor*) …… 2767
屏極散逸 (*Plate dissipation*) …… 2767
屏極電阻 (*Plate resistance*) …… 2767
屏極電流 (*Plate current* ; *Anode current*) …… 2768
屏極電容 (*Plate capacitance*) …… 2768
屏極電路 (*Plate circuit* ; *Anode circuit*) …… 2768
屏極電路效率 (*Plate circuit efficiency*) …… 2769
屏極損耗 (*Plate consumption*) …… 2769
屏極輸入電力 (*Plate input power*) …… 2769
屏極檢波 (*Plate detection*) …… 2769
屏極儲能電路之LC比 (*LC ratio of plate tank circuit*) 2769
屏路檢波 (*Anode bend detection*) …… 2770
屏路檢波器 (*Plate detector*) …… 2770
屏對屏之阻抗 (*Plate-to-plate impedance*) …… 2770
屏調制 (*Plate modulation*) …… 2770
屏蔽 (*Shielding*) …… 2770
屏蔽庫倫位 (*Screened Coulomb potential*) …… 2770
屏輸入電力 (*Plate power input*) …… 2770
屏壓 (*Plate voltage; Anode voltage*) …… 2770
崩瀉 (*Avalanche*) …… 2770

帶式傳聲器 (*Ribbon microphone*)…… 2771
帶光譜 (*Band spectrum*) …… 2772
帶電 (*Electrified*) …… 2772
帶電列 (*Arrangement of electrified body*) …… 2772
帶電粒子 (*Charged particle*)…… 2773
帶電粒子射程 (*Range of charged particles*) …… 2773
帶電體 (*Electrified body ; Charged body*)…… 2774
帶譜中之*P*支、*Q*支及*R*支 (*P-branch, Q-branch and R-branch in band spectrum*)…… 2774
常用對數 (*Common logarithm*)…… 2774
常衡制 (*Avoirdupois*) …… 2774
康卜頓 (*Arthur Holly Compton* 1892—1962) …… 2774
康卜頓、西蒙實驗 (*Compton-Simon experiment*) …… 2775
康卜頓吸收 (*Compton absorption*) …… 2776
康卜頓波長 (*Compton wavelength*)…… 2776
康卜頓效應 (*Compton effect*) …… 2776
康卜頓電子 (*Compton electron*) …… 2778
康銅 (*Constantan*) …… 2778
張力 (*Tension*) …… 2778
張伯倫 (*Owen Chamberlain* 1920-) …… 2778
張量 (*Tensor*) …… 2779
張量力 (*Tensor force*)…… 2779
張量橢球 (*Tensor ellipsoid*) …… 2779
強力柵檢波器 (*Power grid detector*) …… 2780
強交互作用 (*Strong interaction*) …… 2780
強交互作用力 (*Strong interaction force*) …… 2780

強度級 (*Intensity level*) …… 2781
強度指示器 (*Volume indicator*) …… 2781
強迫振盪 (*Forced oscillation*) …… 2781
強迫對流 (*Forced convection*) …… 2785
強訊檢波 (*Power detection*) …… 2785
強訊檢波器 (*Power detector*) …… 2785
彗形像差 (*Coma*) …… 2785
彗星 (*Comet*) …… 2785
彩色值 (*Chromaticity value*) …… 2789
彩色發射 (*Color transmission*) …… 2789
彩色電視 (*Color television*) …… 2789
彩色錯亂 (*Chromatic aberrations*) …… 2790
彩虹 (*Rainbow*) …… 2791
彩層 (*Chromosphere*) …… 2791
得耳他函數 (*Delta function*) …… 2791
徙動 (*Migration*) …… 2792
控制柵極 (*Control grid*) …… 2792
控制柵注入式 (*Control grid injection*) …… 2794
控制桿 (*Control rod*) …… 2795
控電板 (*Panel*) …… 2795
接地 (*Earth connection ; Ground connection*) …… 2795
接地天線 (*Earth antenna*) …… 2796
接地板哈特萊式振盪器 (*Grounded plate Hartley oscillator*) …… 2796
接合式二極電晶體 (*Junction dipole transistor*) …… 2796
接合式三極電晶體 (*Junction triode transistor*) …… 2796

接合式四極電晶體 (*Junction tetrode transistor*)……… 2799
接合柱 (*Joint pole*) ……………………………………… 2799
接收天線 (*Receiving antenna*) ………………………… 2799
接收天線之增益 (*Gain of receiving antenna*)……………2800
接收線路 (*Receiving circuit*) …………………………… 2800
接收機 (*Receiver*) ……………………………………… 2800
接收機之調諧 (*Receiver tuning*)………………………… 2800
接收機傳眞度 (*Fidelity of receiver*)…………………… 2801
接收機選擇性 (*Selectivity of receiver*) ………………… 2802
接收機穩定度 (*Stability of receiver*) ………………… 2803
接收機靈敏度 (*Sensitivity of receiver*) ………………… 2803
接線匣 (*Junction box*) ………………………………… 2804
接線柱 (*Binding post*) ………………………………… 2804
接線圖解 (*Pictorial wiring diagram*) ………………… 2804
接頭 (*Junction*) ………………………………………… 2804
接頭雷射 (*Junction laser*)……………………………… 2804
接觸力 (*Contact force*) ………………………………… 2806
接觸角 (*Angle of contact*) ……………………………… 2806
接觸起電 (*Contact electrification*) …………………… 2806
接觸電位 (*Contact potential*) ………………………… 2807
接觸電阻 (*Contact resistance*) ………………………… 2807
接觸電動勢 (*Contact e.m.f.*)……………………………2808
接觸勢差 (*Contact potential difference*) ……………… 2809
探向電臺 (*Direction finding station*)……………………2810
探針 (*Probe*) ……………………………………………… 2810
探測火箭 (*Sounding rocket*)……………………………… 2810

探測器 (*Detector*) ………… 2810
探照燈 (*Search light*) ………… 2810
捲帶極限 (*Entrainment limit*) ………… 2811
掃廻 (*Sweep*) ………… 2811
掃廻發生器 (*Sweep generator*) ………… 2812
掃廻電路 (*Sweep circuit*) ………… 2812
掃描 (*Scanning*) ………… 2812
掃描線 (*Scanning line*) ………… 2815
掃描線數 (*Number of scanning lines*) ………… 2815
掃描器 (*Scanning device*) ………… 2815
掃描點 (*Scanning spot*) ………… 2815
掃調接收機 (*Panoramic receiver*) ………… 2815
捷路 (*Short circuit*) ………… 2816
掩星 (*Occultation*) ………… 2816
排空氣量 (*Air volume displacement*) ………… 2817
排氣導管 (*Exhaust manifold*) ………… 2817
推力 (*Thrust*) ………… 2817
推力係數 (*Thrust coefficient*) ………… 2817
推力裝置 (*Thrust device*) ………… 2818
推力對重量比 (*Thrust to weigh ratio*) ………… 2818
推斥交互作用 (*Repulsive interaction*) ………… 2818
推挽式放大 (*Push-pull amplification*) ………… 2818
推挽式放大器 (*Push-pull amplifier*) ………… 2819
推挽式並聯電路 (*Push-pull parallel circuit*) ………… 2822
推挽式振盪器 (*Push-pull oscillator*) ………… 2822
推挽式傳聲器 (*Push-pull microphone*) ………… 2822

推挽式變壓器 (*Push-pull transformer*) ………… 2822
推挽偏向 (*Push-pull deflection*) ………… 2822
推挽電路 (*Push-pull circuit*) ………… 2822
推進與阻力 (*Propeller and resistance*) ………… 2823
推遲場 (*Retarded field*) ………… 2825
推遲電位 (*Retarded potential*) ………… 2825
推遲器 (*Retarder*) ………… 2825
教學用核反應器 (*Teaching nuclear reactor*) ………… 2826
斜向拋射 (*Oblique projectile*) ………… 2827
斜面 (*Inclined plane*) ………… 2829
斜面運動 (*Inclined motion*) ………… 2830
斬波器 (*Chopper*) ………… 2831
旋光性 (*Optical activity*) ………… 2831
旋光糖量計 (*Saccharimeter*) ………… 2833
旋度 (*Curl*) ………… 2834
旋風 (*Cyclone*) ………… 2835
旋進 (*Precession*) ………… 2838
旋渦星雲 (*Spiral nebula*) ………… 2839
旋渦臂 (*Spiral arm*) ………… 2839
旋轉向量 (*Rotating vector*) ………… 2840
旋轉式黏度計 (*Rotational viscosimeter*) ………… 2840
旋轉坐標系 (*Rotating coordinate system*) ………… 2840
旋轉開關 (*Rotary switch*) ………… 2841
旋轉晶體法 (*Rotating crystal method*) ………… 2841
旋轉電容器 (*Rotary capacitor*) ………… 2841
旋轉磁場 (*Rotating field*) ………… 2841

晝與夜 (*Day and night*) ······ 2842
晨鳥衞星 (*Early birds satellites*) ······ 2842
朗日凡順磁性 (*Langevin paramagnetism*) ······ 2842
朗伯 (*Lambert*) ······ 2843
朗伯餘弦定律 (*Lambert's law of cosine*) ······ 2843
望日 (*Solstice*) ······ 2843
望遠鏡 (*Telescope*) ······ 2844
望遠鏡放大率 (*Magnifying power of telescope*) ······ 2848
梯形電網絡 (*Ladder type network*) ······ 2848
梯度 (*Gradient*) ······ 2848
梯級衰減器 (*Stepped attenuator*) ······ 2849
梯恩梯炸藥當量 (*T.N.T. equivalent*) ······ 2849
桿臂 (*Lever arm*) ······ 2849
桿鐘 (*Rod clock*) ······ 2849
梭狀星雲 (*Swift nebula*) ······ 2851
梅耳得實驗 (*Melde's experiment*) ······ 2851
梅林轉換 (*Mellin transform*) ······ 2852
梅耶夫人 (*Maria Goeppert Mayer* 1906— 1972) ······ 2852
條形磁鐵 (*Bar magnet*) ······ 2853
毫 (*Milli*) ······ 2853
毫巴 (*Millibar*) ······ 2853
毫安計 (*Milliammeter*) ······ 2853
毫伏特計 (*Millivoltmeter*) ······ 2854
毫微 (*Nano*) ······ 2854
毫歐姆 (*Milliohm*) ······ 2854
氫 (*Hydrogen*) ······ 2854

氫放電管　(*Hydrogen discharge tube*)………… 2854
氫原子之能階　(*Energy level of hydrogen atom*)………… 2854
氫原子光譜　(*Spectra of hydrogen atom*)………… 2855
氫與能源　(*Hydrogen and energy source*)………… 2857
氫彈　(*Hydrogen bomb*)………… 2858
氫鍵　(*Hydrogen bond*)………… 2860
氪　(*Krypton ; Kr*)………… 2861
淬火　(*Quenching*)………… 2861
深度與水壓　(*Depth and water pressure*)………… 2861
液化　(*Liquefaction*)………… 2862
液化器　(*Liquefier*)………… 2862
液柱流體壓力計　(*Liquid column manometer*)………… 2863
液晶　(*Liquid crystal*)………… 2863
液態　(*Liquid phase*)………… 2865
液態金屬燃料反應器(*Liquid metal fuel reactor ; L.M.F.R.*)2865
液態氧　(*Liquid oxygen*)………… 2866
液態氦　(*Liquid helium*)………… 2866
液態氫　(*Liquid hydrogen*)………… 2870
液態氮　(*Liquid nitrogen*)………… 2870
液滴模型　(*Liquid drop model*)………… 2870
液體　(*Liquid*)………… 2871
液體之水平壓力　(*Horizontal pressure of liquid*)………… 2872
液體之向下壓力　(*Down pressure of liquid*)………… 2872
液體之向上壓力　(*Up pressure of liquid*)………… 2873
液體之表面　(*Surface of liquid*)………… 2873
液體之浮力　(*Buoyancy of liquid*)………… 2873

液體之對流 (*Convection of liquid*) ························· 2874
液體之蒸氣壓 (*Vapour pressure of liquid*) ················ 2874
液體之膨脹 (*Expansion of liquid*) ························ 2875
液體之壓力 (*Pressure of liquid*) ························· 2875
液體之壓縮係數 (*Compressibility of liquid*) ············ 2877
液體比重計 (*Liquid hydrometer*) ·························· 2878
液體閃爍計數器 (*Liquid scintillation counter*) ········· 2879
液體溫度計 (*Liquid thermometer*) ························ 2880
液體膨脹係數之測定 (*Determination of coefficient of expansion of liquid*) ························ 2882
液體壓力之傳達 (*Transmission of pressure of liquid*) 2883
液體壓力計 (*Liquid pressure gauge*) ······················ 2884
液體檢波器 (*Liquid detector*) ····························· 2884
液體黏度之測定 (*Determination of liquid viscosity*) 2884
淺水波 (*Low water wave*) ·································· 2884
混合張量 (*Mixed tensor*) ··································· 2885
混合熱中子反應器 (*Mixed thermal neutron reactor*) ··· 2885
混合器 (*Mixer*) ·· 2885
混頻管 (*Mixer tube*) ·· 2885
淨彈 (*Clean bomb*) ·· 2885
淨驅動力 (*Net driving force*) ······························ 2885
焊接 (*Welding*) ·· 2885
焓 (*Enthalpy*) ·· 2886
牽牛星 (*Aquila*) ·· 2887
球貝色函數 (*Spherical Bessel function*) ·················· 2887
球形凸輪 (*Spherical convex wheel*) ························ 2889

球形實物放映機 (*Spherical real object projector*) ····· 2889
球狀陀螺分子 (*Spherical top molecules*) ···················· 2889
球面坐標 (*Spherical coordinate*) ···························· 2889
球面波 (*Spherical wave*) ··· 2891
球面像差 (*Spherical aberration*) ··························· 2893
球面鏡 (*Spherical mirror*) ······································· 2894
球徑計 (*Spherometer*) ·· 2895
球軸承 (*Ball bearing*) ·· 2896
球隕石 (*Ball meteorite*) ··· 2897
球對稱 (*Spherical symmetry*) ·································· 2897
球諧函數 (*Spherical harmonics*) ····························· 2897
球諧函數之相加定理 (*Addition theorem of spherical harmonics*) ······························ 2899
球燃料反應器 (*Pebble bed reactor*) ························· 2899
球騰態 (*Spheroidal state*) ··· 2899
理想可塑物質 (*Ideal plastic material*) ····················· 2900
理想流體 (*Perfect liquid*) ·· 2900
理想氣體 (*Ideal gas*) ··· 2900
理想氣體之狀態式 (*Equation of state of ideal gas*) ··· 2902
理想氣體之絕熱變化 (*Adiabatic change of ideal gas*) ·· 2902
理想氣體之熱容量 (*Thermal capacity of ideal gas*) ··· 2903
理想氣體常數 (*Ideal gas constant*) ·························· 2903
理想氣體溫標 (*Ideal gas temperature scale*) ············ 2903
理想費米氣體 (*Ideal Fermi gas*) ···························· 2904
理想晶體 (*Ideal crystal*) ··· 2904
理想熱機之效率方程式 (*Efficiency equation of ideal heat*

engine) ……… 2904
理想導電性 (*Perfect conductivity*) ……… 2905
理想響應 (*Ideal response*) ……… 2906
現象 (*Phenomenon*) ……… 2906
瓷質電容器 (*Ceramic capacitor*) ……… 2906
瓷器絕緣體 (*Porcelian*) ……… 2906
產物 (*Products*) ……… 2906
產率 (*Yield*) ……… 2907
畢安其恆等式 (*Bianchi identity*) ……… 2907
異步電動機 (*Asynchronous motor*) ……… 2908
異相 (*Out of phase*) ……… 2908
異重素 (*Allobar*) ……… 2908
異常則曼效應 (*Anomalous Zeeman effect*) ……… 2908
異構物 (*Isomer*) ……… 2910
疏密波 (*Wave of condensation and rarefaction ; Longitudinal wave*) ……… 2911
疏耦合 (*Loose coupling ; Weak coupling*) ……… 2912
眼睛 (*Eye*) ……… 2912
眼鏡 (*Spectacles*) ……… 2914
眼鏡的度數 (*Degree of spectacles*) ……… 2915
硒 (*Selenium ; Se*) ……… 2915
硒光電池 (*Selenium cell*) ……… 2915
硒整流器 (*Selenium rectifier*) ……… 2916
研究用反應器 (*Research reactor*) ……… 2917
移近速度 (*Velocity of approach*) ……… 2921
移動性高氣壓 (*High pressure of mobility*) ……… 2922

移動性常數與擴散常數的愛因斯坦關係 (*Einstein relationship between mobility and diffusion constant*) ······ 2922
移動能量 (*Energy of translation*) ······ 2922
移動率 (*Mobility*) ······ 2922
移動電臺 (*Portable station*) ······ 2923
移調 (*Transposition*) ······ 2923
移調矩陣 (*Transposed matrix*) ······ 2923
第一三和音 (*Tonic triad*) ······ 2923
第一受激能 (*First excitation energy*) ······ 2924
第一級火箭 (*First stage rocket*) ······ 2924
第一級定理 (*First order theory*) ······ 2924
第一焦點 (*First focal point*) ······ 2924
第一種槓桿 (*First lever*) ······ 2924
第一磁性定律 (*First law of magnetism*) ······ 2925
第一檢波器 (*First detector*) ······ 2925
第一聲頻級 (*First audio stage*) ······ 2925
第二三和音 (*Dominant triad*) ······ 2925
第二級量子化 (*Second quantization*) ······ 2925
第二陽極 (*Second anode*) ······ 2926
第二諧波 (*Second harmonic*) ······ 2926
第二檢波器 (*Second detector*) ······ 2926
第二黏滯係數 (*Second coefficient of viscosity*) ······ 2926
第二類超導體 (*Type Ⅱ superconductor*) ······ 2927
第三三和音 (*Subdominant triad*) ······ 2928
第塞夫 (*Deep space instrumentation facilities ;D.S.I.F.*) 2928

笛卡爾 （*Rene Descartes* 1596—1650）…………………… 2928
笛卡爾反射公式 （*Descartes' reflection formula*）……… 2929
笛卡爾折射公式 （*Descartes' refraction formula*）……… 2930
笛卡爾浮沉子 （*Descartes' diver*）………………………… 2931
笛卡爾薄透鏡公式 （*Descartes' thin lens formula*）…… 2932
笛聲干擾 （*Whistle interference*）…………………………… 2932
符合計數 （*Coincidence counting*）………………………… 2932
粒 （*Grain*）……………………………………………………… 2932
粒子 （*Particle*）………………………………………………… 2932
粒子之直線運動 （*Rectilinear motion of a particle*）… 2932
粒子加速器 （*Particle accelerator*）………………………… 2933
粒子探測器 （*Particle detector*）…………………………… 2933
粒子貯環 （*Particle storage ring*）………………………… 2933
粒間破裂 （*Intergranular crack*）…………………………… 2934
粗控棒 （*Shim rod*）…………………………………………… 2934
絃之振動 （*Vibration of string*）…………………………… 2934
絃音計 （*Sonometer*）………………………………………… 2934
絃樂器 （*String instrument*）………………………………… 2935
統一場論 （*Unified field theory*）…………………………… 2935
統計力學 （*Statistical mechanics*）………………………… 2936
統計力學求熵之方法 （*Statistical method of entropy*）‥ 2936
統計平衡 （*Statistical equilibrium*）……………………… 2937
統計系集 （*Statistical ensemble*）………………………… 2937
統計詮釋 （*Statistical interpretation*）…………………… 2937
統計熱力學 （*Statistical thermodynamics*）……………… 2938
統計整理 （*Statistical arrangement*）……………………… 2939

統計獨立 (*Statistical independence*) ······ 2939
統計權重 (*Statistical weight*) ······ 2939
組合頻率 (*Combination frequency*) ······ 2939
組合顯微鏡 (*Compound microscope*) ······ 2940
組態交互作用 (*Configuration interaction*) ······ 2940
細菌電池 (*Bacterial cell*) ······ 2941
細調棒 (*Regulating rod*) ······ 2941
終產物 (*End product*) ······ 2941
終端夾 (*Terminal clamp*) ······ 2941
終端速度 (*Terminal velocity*) ······ 2941
終端電壓 (*Terminal voltage*) ······ 2942
紫外線 (*Ultraviolet ray*) ······ 2942
紫外線顯微鏡 (*Ultraviolet microscope*) ······ 2943
紫外輻射 (*Ultraviolet radiation*) ······ 2945
累積中子通量 (*Integrated neutron flux*) ······ 2945
累積效應 (*Cumulative effect*) ······ 2945
累積電路 (*Integrated circuit*) ······ 2945
脫離能 (*Escape energy*) ······ 2945
脫離速度 (*Escape velocity*) ······ 2945
船頭波 (*Bow wave*) ······ 2947
莫士包 (*Rudolf L. Mössbauer* 1929-) ······ 2947
莫士包效應 (*Mössbauer effect*) ······ 2948
莫司位能 (*Morse potential*) ······ 2949
莫司發聲器 (*Morse sounder*) ······ 2949
莫司電報機 (*Morse telegraph*) ······ 2949
莫司電碼 (*Morse code*) ······ 2951

莫而圓 (*Mohr's circle*) ………… 2951
莫色勒 (*Henry Gwyn-Jeffrey's Moseley* 1887—1915) 2952
莫色勒定律 (*Moseley's law*) ………… 2952
莫色勒圖 (*Moseley diagram*) ………… 2953
莫芬亭位 (*Muffin-tin potential*) ………… 2953
莫特、瓦尼爾激發 (*Mott-Wannier excitation*) ………… 2953
莫特躍遷 (*Mott transition*) ………… 2954
荷質比 (*Specific charge*) ………… 2954
荷電定律 (*Law of electric charge*) ………… 2954
規範不變性 (*Gauge invariance*) ………… 2954
規範變換 (*Gauge transformation*) ………… 2954
許可劑量 (*Permissible dose*) ………… 2956
貫穿 (*Penetration*) ………… 2956
貫穿本領 (*Power of penetration*) ………… 2956
軛 (*Yoke*) ………… 2956
軟性X射線 (*Soft X-ray*) ………… 2957
軟性管 (*Soft tube*) ………… 2957
軟焊接 (*Soft welding*) ………… 2957
軟黃銅 (*Low brass*) ………… 2957
軟超導體 (*Soft superconductors*) ………… 2957
軟鐵電流計 (*Soft iron galvanometer*) ………… 2957
通用商業語言程式 (*Common business oriented language ; C.O.B.O.L.*) ………… 2957
通地 (*Earthed ; Grounded*) ………… 2958
通地板 (*Earth plate*) ………… 2958
通信替續制 (*Radio relay system*) ………… 2958

通訊衛星 (*Communication satellite*) ········ 2958
通帶濾波器 (*Band pass filter*) ········ 2959
通量 (*Flux*) ········ 2959
通量密度 (*Flux density*) ········ 2959
通量量子化 (*Flux quantization*) ········ 2960
通路 (*Closed circuit*) ········ 2961
通電式震波 (*Switch-on shocks*) ········ 2961
通話計 (*Message register*) ········ 2961
通頻段 (*Pass band*) ········ 2961
連接圖 (*Connection diagram*) ········ 2962
連通器 (*Communicating vessel*) ········ 2962
連鎖反應 (*Chain reaction*) ········ 2962
連續方程式 (*Equation of continuity*) ········ 2963
連續介質 (*Continuous medium*) ········ 2963
連續光譜 (*Continuous spectra*) ········ 2964
連續電流 (*Continuous current*) ········ 2964
速度 (*Velocity*) ········ 2964
速度比 (*Velocity ratio*) ········ 2965
速度之界限 (*Limit of velocity*) ········ 2965
速度位 (*Velocity potential*) ········ 2965
速度表 (*Aerodromometer*) ········ 2965
速度相加 (*Addition of velocity*) ········ 2965
速度係數 (*Coefficient of velocity*) ········ 2966
速度距離關係 (*Velocity-distance relation*) ········ 2967
速率 (*Speed*) ········ 2967
速率控制 (*Speed control*) ········ 2967

速跳線路 (*Jumping circuit*) ······ 2968
速滅振盪器 (*Quenching oscillator*) ······ 2968
速滅頻率 (*Quenching frequency*) ······ 2968
速端曲線 (*Hodograph*) ······ 2968
造山運動 (*Making of mountain*) ······ 2968
造鏡者公式 (*Lens maker's equation*) ······ 2972
透明電漿 (*Transparent plasma*) ······ 2973
透明體 (*Transparent body*) ······ 2973
透明體的顏色 (*Colour of transparent body*) ······ 2973
透射比 (*Transmittance ; Transmissivity*) ······ 2973
透射光柵 (*Transmission grating*) ······ 2974
透射式繞射光柵 (*Transmission diffraction grating*) ··· 2974
透射映畫器 (*Diascope*) ······ 2976
透射係數 (*Transmission coefficient*) ······ 2976
透視式投影 (*Diascopic projection*) ······ 2977
透鏡 (*Lens*) ······ 2978
透鏡中心 (*Center of lens*) ······ 2979
透鏡之主軸 (*Principal axis of lens*) ······ 2979
透鏡之光心 (*Optical center of lens*) ······ 2979
透鏡之組合 (*Combination of lens*) ······ 2979
透鏡之副軸 (*Secondary axis of lens*) ······ 2979
透鏡公式 (*Lens formula*) ······ 2980
透鏡度 (*Power of lens*) ······ 2980
透鏡像差 (*Lens aberration*) ······ 2980
部分偏振光 (*Partially polarized light*) ······ 2981
部分熱平衡 (*Partial thermal equilibrium*) ······ 2981

釷　(*Thorium* ; *Th*) ······ 2981
釷化燈絲　(*Thoriated filament*) ······ 2982
釷系　(*Thorium series*) ······ 2982
釩　(*Vanadium* ; *V*) ······ 2982
釤　(*Samarium* ; *Sm*) ······ 2982
釹　(*Neodymium* ; *Nd*) ······ 2983
閉心式變壓器　(*Closed core transformer*) ······ 2983
閉合軌層　(*Closed shell*) ······ 2983
閉合電路　(*Closed circuit*) ······ 2983
閉循環反應器系統　(*Closed-cycle reactor system*) ······ 2983
陸末、布若洪光度計　(*Lummer-Brodhun photometer*) ··· 2983
陸末、革克板　(*Lummer-Gehrcke plate*) ······ 2984
陸圈　(*Plutosphere*) ······ 2984
陶器　(*Ceramic*) ······ 2985
陷阱　(*Traps*) ······ 2985
陷波器　(*Band trap*) ······ 2985
陷聲器　(*Sound trap*) ······ 2985
陰向離子　(*Cation*) ······ 2985
陰極　(*Cathode*) ······ 2985
陰極加鍵　(*Cathode keying*) ······ 2986
陰極光線屏蔽　(*Cathode lightshield*) ······ 2986
陰極注頻　(*Cathode injection*) ······ 2986
陰極灼熱　(*Cathode incandescence*) ······ 2986
陰極負荷　(*Cathode load*) ······ 2987
陰極旁路電容器　(*Cathode by-pass condenser*) ······ 2987
陰極射線　(*Cathode ray*) ······ 2988

陰極射線示波器 (*Cathode ray oscilloscope*) ·············· 2991
陰極射線管 (*Cathode ray tube*) ································ 2991
陰極偏壓 (*Cathode bias*) ·· 2993
陰極暗區 (*Cathode dark space*) ································ 2994
陰極電位 (*Cathode potential*) ································· 2994
陰極電阻器 (*Cathode resistor*) ································ 2994
陰極電流 (*Cathode current*) ···································· 2994
陰極調制 (*Cathode modulation*) ································ 2994
陰極耦合 (*Cathode coupling*) ···································· 2995
陰極耦合器 (*Cathode follower*) ································ 2995
陰電性元素 (*Electronegative element*) ······················ 2996
陰影 (*Shadow*) ··· 2996
陰曆 (*Lunar calendar*) ·· 2996
陰離子 (*Anion*) ·· 2997
雪 (*Snow*) ·· 2997
章動 (*Nutation*) ··· 2998
頂帽 (*Top cap*) ·· 2998
麥克特射影 (*Mercutor projection*) ···························· 2998
麥克勞方程式 (*Macleod equation*) ···························· 2999
麥克勞壓力計 (*Macleod gauge*) ································ 2999

十 二 畫

傍位移 (*Lateral displacement*) ································ 3001
傅立葉分析 (*Fourier analysis*) ································ 3001
傅立葉之熱流定律 (*Fourier's heat current law*) ········· 3001
傅立葉、貝色變換式 (*Fourier-Bessel transform*) ········ 3001

傅立葉定律　(*Fourier's law*)…… 3001
傅立葉空間　(*Fourier space*)…… 3002
傅立葉係數　(*Fourier coefficient*)…… 3002
傅立葉級數　(*Fourier series*)…… 3002
傅立葉效應　(*Fourier effect*)…… 3003
傅瑞涅爾　(*Augustin Jean Fresnel* 1788—1827)…… 3003
傑恩、特勒效應　(*John-Teller effect*)…… 3003
備用發射機　(*Auxiliary transmitter*)…… 3003
備用機件　(*Stand-by machine*)…… 3003
備急機件　(*Emergency apparatus*)…… 3003
傘形天線　(*Umbrella antenna*)…… 3004
凱文表面張力方程式　(*Kelvin equation for surface tension*)…… 3004
凱氏溫標　(*Kelvin's thermometric scale*)…… 3004
凱普曼方程式　(*Chapman equation*)…… 3004
剩磁　(*Residual magnetism*)…… 3004
剩餘核輻射　(*Residual nuclear radiation*)…… 3004
剩餘氣體　(*Residual gases*)…… 3005
剩餘電阻　(*Residual resistance*)…… 3005
剩餘電荷　(*Residual charge*)…… 3006
剩餘磁化強度　(*Residual magnetization*)…… 3006
勞厄　(*Max Theoder Felix von Laue* 1879—1960)…… 3007
勞厄方程式　(*Laue equation*)…… 3007
勞厄狀況　(*Laue conditions*)…… 3009
勞厄斑　(*Laue spot*)…… 3009
勞厄照相　(*Laue photograph*)…… 3009

勞厄圖樣 (*Laue pattern*) ………………………… 3012
勞厄繞射 (*Laue diffraction*) ………………………… 3012
勞厄繞射方程式 (*Laue diffraction equation*) ………… 3013
勞厄繞射圖樣 (*Laue diffraction pattern*) ……………… 3015
勞特定律 (*Raoult's law*) ………………………… 3019
勞倫級數 (*Laurent series*) ………………………… 3019
勞倫斯 (*Ernest Orlando Lawrence* 1901—1958) …… 3019
喇叭 (*Horn*) ………………………… 3019
喇叭式揚聲器 (*Horn type loud speaker*) ……………… 3021
喇叭形天線 (*Horn type antenna*) ………………………… 3021
喇叭筒 (*Megaphone*) ………………………… 3021
單工制 (*Simplex operation*) ………………………… 3021
單分子層 (*Unimolecular layer*) ………………………… 3022
單心目鏡 (*Monocentric eyepiece*) ………………………… 3022
單式 (*Monaural*) ………………………… 3022
單式雷達 (*Primary radar*) ………………………… 3022
單向反射 (*Regular reflection*) ………………………… 3023
單向天線 (*Unidirectional antenna*) ………………………… 3023
單向天線孔徑 (*Aperture of a unidirectional antenna*) 3023
單向無線電通信 (*Single-way radio communication*) … 3023
單向電流 (*Unidirectional current*) ………………………… 3023
單向傳聲器 (*Unidirectional microphone*) ……………… 3023
單色光 (*Monochromatic light* ; *Single-color light*) ·· 3023
單位 (*Unit*) ………………………… 3024
單位力 (*Unit force*) ………………………… 3025
單位向量 (*Unit vector*) ………………………… 3025

單位固體角 (*Unit solid angle*) ……… 3026
單位矩陣 (*Unit matrix*) ……… 3026
單位晶胞 (*Unit cell*) ……… 3026
單位極 (*Unit pole*) ……… 3027
單位電荷 (*Unit charge*) ……… 3027
單位電動勢 (*Unit of electromotive force*) ……… 3027
單位熱量 (*Unit of thermal*) ……… 3027
單位磁極 (*Unit magnetic pole*) ……… 3027
單性流體說 (*One fluid theory*) ……… 3027
單相 (*Single phase*) ……… 3027
單相交流電路 (*Single A.C. circuit*) ……… 3027
單相發電機 (*Single phase dynamo*) ……… 3029
單原子分子 (*Monatomic molecules*) ……… 3029
單級火箭 (*Singlestage rocket*) ……… 3029
單狹縫之繞射 (*Single-slit diffraction*) ……… 3029
單接合式電晶體 (*Unijunction transistor*) ……… 3031
單域粒子 (*Single domain particle*) ……… 3032
單斜晶系 (*Monoclinic system*) ……… 3032
單晶之晶面 (*Surface of single crystal*) ……… 3033
單晶胞 (*Unit cell*) ……… 3033
單軸晶體 (*Uniaxial crystal*) ……… 3033
單鈕碳質微音器 (*Single-button carbon microphone*) ……… 3033
單循環反應器系統 (*Single-cycle reactor system*) ……… 3033
單極單投 (*Single-pole single-throw*) ……… 3033
單極發電機 (*Unipolar dynamo*) ……… 3033
單極開關 (*Single-pole switch*) ……… 3033

單極雙投 (*Single-pole double-throw*) …… 3034

單端管 (*Single-ended tube*) …… 3034

單層 (*Single layer*) …… 3034

單價元素 (*Monogen*) …… 3034

單線制 (*Single wire line*) …… 3034

單盤控制 (*Single-dial control*) …… 3034

單擺 (*Simple pendulum*) …… 3034

單擺之等時性 (*Isochronism of pendulum*) …… 3036

單擺定律 (*Law of simple pendulum*) …… 3036

單擺時鐘 (*Single pendulum clock*) …… 3037

單邊帶通信 (*Single side band transmission*) …… 3037

單繞變壓器 (*Single coil transformer*) …… 3037

單顯微鏡 (*Simple microscope*) …… 3037

唧筒 (*Pump*) …… 3038

喉微音器 (*Throat microphone*) …… 3038

啻丹 (*Titan*) …… 3038

圍包 (*Blanket*) …… 3038

圍阻 (*Containment*) …… 3038

圍阻容器 (*Containment vessel*) …… 3038

報表語言程式 (*Report program generator ; R. P. G.*) …… 3039

報時信號 (*Time signal*) …… 3040

報務員 (*Operator*) …… 3040

報務員執照 (*Operator's licence*) …… 3040

報頭 (*Preamble*) …… 3040

報警信號 (*Alarm-signal*) …… 3040

堤防與水壓 (*Dike and water pressure*) …… 3040

場 (*Field*) ············ 3041
場力 (*Field force*) ············ 3042
場致電子發射 (*Field electron emission*) ············ 3042
場發射 (*Field emission*) ············ 3043
場線 (*Field line*) ············ 3043
場磁鐵 (*Field magnet*) ············ 3043
場擾動 (*Field disturbance*) ············ 3043
媒介 (*Medium*) ············ 3043
寒流 (*Cold current*) ············ 3043
寒暑表 (*Thermometer*) ············ 3044
富利定理 (*Furry's theorem*) ············ 3044
富朗茲丶克第西效應 (*Franz-Keldysh effect*) ············ 3044
富蘭克林 (*Benjamin Franklin* 1706—1790) ············ 3045
尋常光線 (*Ordinary ray*) ············ 3045
幅度 (*Amplitude*) ············ 3045
幅度失眞 (*Amplitude distortion*) ············ 3046
幅度特性曲線 (*Amplitude characteristic*) ············ 3046
幅度選擇 (*Amplitude selection*) ············ 3046
幅變 (*Amplitude variation*) ············ 3046
幾何光學 (*Geometrical optics*) ············ 3046
幾何結構因數 (*Geometrical structure factor*) ············ 3047
復冰 (*Regelation*) ············ 3048
復合 (*Recombination*) ············ 3049
復合輻射 (*Recombination radiation*) ············ 3050
循環 (*Cycle*) ············ 3050

惠司同電橋 (*Wheatstone bridge*) ………… 3051
惠更斯 (*Christian Huygens* 1629—1695) ………… 3051
惠更斯目鏡 (*Huygens' eyepiece*) ………… 3051
惠更斯光源 (*Huygens' light source*) ………… 3052
惠更斯原理 (*Huygens' principle*) ………… 3052
惰性 (*Inertia*) ………… 3053
惰性空間 (*Inertial space*) ………… 3053
惰性氣體 (*Inert gas ; Noble gas*) ………… 3054
惰輪 (*Idle wheel*) ………… 3054
揚聲器 (*Loud speaker*) ………… 3054
揚聲器音圈 (*Loudspeaker voice coil*) ………… 3056
描畫 (*Trace*) ………… 3056
插入式線圈 (*Plug-in coil*) ………… 3056
插口 (*Jack*) ………… 3056
插子及插座 (*Jack plug*) ………… 3056
插板 (*Jack panel*) ………… 3056
插頭變阻器 (*Receptacle rheostat*) ………… 3056
插塞 (*Plug*) ………… 3057
插塞連座 (*Plug and socket*) ………… 3057
換日線 (*International date line*) ………… 3057
換向 (*Commutation*) ………… 3057
換向器 (*Commutator*) ………… 3057
換相機 (*Phase converter*) ………… 3058
換流器 (*Inverter*) ………… 3058
換能器 (*Transducer*) ………… 3059
換頻器 (*Frequency changer*) ………… 3059

揑縮系的不穩定性　(*Unstability of pinch system*)……3059
揑縮效應　(*Pinch effect*)……3059
散度　(*Divergence*)……3062
散度定理　(*Divergence theorem*)……3062
散射　(*Scattering*)……3062
散射式起偏器　(*Scattering type polarizer*)……3064
散射角　(*Scattering angle*)……3065
散射花樣　(*Scattering pattern*)……3065
散射幅　(*Scattering amplitude*)……3065
散射矩陣　(*Scattering matrix ; S-matrix*)……3065
散射矩陣的么正性　(*Unitarity of S-matrix*)……3066
散射矩陣理論　(*S-matrix theory*)……3066
散射截面　(*Scattering cross section*)……3066
散粒效應　(*Shot effect*)……3067
散裂反應　(*Spallation reaction*)……3068
斐索　(*Armand Hippolyte Louis Fizeau* 1819—1896) 3068
斐索實驗　(*Fizeau's experiment*)……3068
斯拉特行列式　(*Slater determinant*)……3070
斯特靈機　(*Stirling machine*)……3071
斯勒格　(*Slug*)……3072
斯塔旦　(*Space tracking and data acquisition network ; S.T.A.D.A.N.*)……3073
普里斯特萊　(*Joseph Priestley* 1733—1804)……3073
普拉萊特、蘭特照相機　(*Polariod-Land camera*)……3073
普芬德線系　(*Pfund series*)……3074
普通風　(*Prevailing wind*)……3074

普通鈾 (*Normal uranium*)………………………………3074
普通滑輪組 (*Pully block*)………………………………3074
普通鎢絲燈泡 (*Ordinary tungsten lamp*)………………3075
普雷伏士特互換定律 (*Prevost's law of exchange*) ……3075
普遍氣體常數 (*Universal gas constant*) ………………3075
普適氣體常數 (*Universal gas constant*) ………………3076
普適費米交互作用 (*Universal Fermi interaction*)………3076
晶系 (*Crystal system*) ………………………………3078
晶狀體 (*Crystalline lens*) ……………………………3078
晶格 (*Lattice*)…………………………………………3078
晶格波 (*Lattice wave*) ………………………………3078
晶格和 (*Lattice sums*) ………………………………3079
晶格的根基 (*Basis of lattice*) ………………………3080
晶格缺陷 (*Lattice defect*) ……………………………3080
晶格動力學 (*Lattice dynamics*) ………………………3080
晶格熱容德拜模型 (*Debye model of the lattice heat capacity*) ……………………………3080
晶粒之大小 (*Size of crystal*)…………………………3081
晶體 (*Crystal*)…………………………………………3081
晶體二極體 (*Crystal diode*)…………………………3084
晶體三極管 (*Crystal triode*) …………………………3085
晶體片 (*Quartz plate*) ………………………………3085
晶體之生成 (*Growth of crystal*) ……………………3086
晶體分光計 (*Crystal spectrometer*) …………………3087
晶體收音機 (*Crystal receiver*) ………………………3088
晶體光軸 (*Optic axis of crystal*)……………………3088

晶體光學　(*Crystal optics*) ……3088
晶體坐標軸　(*Crystal axes*) ……3092
晶體和非晶體　(*Crystal and amorphism*) ……3092
晶體拾音器　(*Crystal pick-up*) ……3093
晶體計數器　(*Crystal counter*) ……3093
晶體格子　(*Crystal lattice*) ……3094
晶體格子常數之測定　(*Determination of lattice parameters*) ……3095
晶體能帶模型　(*Crystal energy band model*) ……3095
晶體校準器　(*Crystal calibrator*) ……3097
晶體振盪器　(*Crystal oscillator*) ……3098
晶體麥克風　(*Crystal microphone*) ……3101
晶體控制　(*Crystal control*) ……3102
晶體控制發射機　(*Crystal control transmitter*) ……3102
晶體動量　(*Crystal momentum*) ……3102
晶體旋轉法　(*Rotating crystal*) ……3103
晶體旋轉攝影術　(*Crystal rotation photography*) ……3103
晶體散射　(*Crystal scattering*) ……3104
晶體場理論　(*Crystal field theory*) ……3106
晶體結構　(*Crystal structure*) ……3106
晶體結構之測定　(*Determination of crystal structure*) 3106
晶體微音器　(*Crystal microphone*) ……3107
晶體揚聲器　(*Crystal loudspeaker*) ……3108
晶體整流器　(*Crystal rectifier*) ……3108
晶體諧振器　(*Crystal resonator*) ……3109
晶體檢波器　(*Crystal detector*) ……3109

晶體檢波器的特性曲線 (*Characteristic curve of crystal detector*) ········ 3110
晶體濾波器 (*Filter crystal*) ········ 3110
晚霞 (*Rosy clouds just before sunset*) ········ 3110
替代式合金 (*Substitutional alloy*) ········ 3111
替續器 (*Relay*) ········ 3111
最小二乘法 (*Least squares fitting*) ········ 3112
最小作用原理 (*Principle of least action*) ········ 3112
最小偏向角 (*Angle of minimum deviation*) ········ 3112
最小電磁耦合 (*Minimum electromagnetic coupling*) ··· 3114
最大不失眞的輸出 (*Maximum undistorted output*) ······· 3114
最大泡壓法 (*Maximum bubble tension*) ········ 3114
最大信號 (*Maximum signal*) ········ 3115
最大馬力 (*Maximum horse power*) ········ 3115
最大峯反壓 (*Maximum peak inverse voltage*) ········ 3115
最大張力 (*Maximum tension*) ········ 3116
最大許可濃度 (*Maximum permissible concentration ; M.P.C.*) ········ 3116
最大許可劑量 (*Maximum permissible dose ; M.P.D.*) 3116
最大許可暴露 (*Maximum permissible exposure*) ········ 3116
最大密度 (*Maximum density*) ········ 3116
最大摩擦 (*Maximum friction*) ········ 3117
最大輸入 (*Maximum input*) ········ 3117
最大靜摩擦力 (*Maximum static friction force*) ········ 3117
最大應力 (*Maximum strength*) ········ 3117
最低溫度計 (*Minimum thermometer*) ········ 3117

最佳阻抗 (*Optimum impedance*) ………… 3118
最佳耦合 (*Optimum-coupling*) ………… 3118
最高與最低溫度計 (*Maximum and minimum thermometer*) ………… 3118
最短時間定律 (*Law of least time*) ………… 3120
朝永振一郎 (*Sin Ichiro Tomonaga* 1906 -) ………… 3121
朝永振一郎、薛丁格方程式 (*Tomonaga-Schrödinger equation*) ………… 3121
朝霧 (*Morning fog*) ………… 3121
棒之振動 (*Vibration of rod*) ………… 3121
殘波 (*Chrip*) ………… 3122
殼式變壓器 (*Shell-type transformer*) ………… 3122
殼構地震 (*Tectonic earthquake*) ………… 3122
殼層 (*Shell*) ………… 3122
殼層模型 (*Shell model*) ………… 3123
氬 (*Argon*) ………… 3123
氬整流管 (*Argon bulb rectifier*) ………… 3123
氯化鈉結構 (*Sodium chloride structure*) ………… 3123
氯化銫晶體結構 (*Casium chloride crystal structure*) ………… 3124
渾天儀 (*Armillary sphere*) ………… 3124
游泳池反應器 (*Swimming pool reactor*) ………… 3124
游標 (*Vernier*) ………… 3124
游標尺 (*Vernier caliper*) ………… 3124
游騎兵太空船 (*Ranger spaceship*) ………… 3126
游離 (*Ionization*) ………… 3126
游離比度 (*Specific ionization*) ………… 3127

游離光譜儀 (*Ionization spectrometer*) …… 3127
游離位 (*Ionization potential*) …… 3127
游離室 (*Ionization chamber*) …… 3128
游離室計數器 (*Ionization counter*) …… 3129
游離事件 (*Ionizing event*) …… 3129
游離能 (*Ionization energy*) …… 3130
游離層 (*Ionosphere*) …… 3130
游離輻射 (*Ionizing radiation*) …… 3130
游離機率 (*Ionization probability*) …… 3131
減交流音線圈 (*Hum-bucking coil*) …… 3131
減光器 (*Dimmer*) …… 3132
減速 (*Slowing down*) …… 3132
減速度 (*Deceleration*) …… 3132
減速電位 (*Retarded potential*) …… 3132
減速電場 (*Retarded field*) …… 3132
減速劑 (*Moderator*) …… 3132
減速輻射 (*Retarding radiation*) …… 3132
減幅波 (*Damped wave*) …… 3132
減幅波發射 (*Damped wave transmission*) …… 3132
減壓電阻 (*Voltage-reducing resistor*) …… 3132
減壓蒸餾 (*Voltage-reducing distillation*) …… 3133
湖水之循環 (*Circulation of lake water*) …… 3133
測比重法 (*Measurement of specific gravity*) …… 3133
測比熱法 (*Measurement of specific heat*) …… 3134
測不準原理 (*Uncertainty principle*) …… 3135
測加速度器 (*Accelerometer*) …… 3138

測向儀 (*Direction finder*) ………… 3138
測厚儀 (*Thickness gauge*) ………… 3138
測斜儀 (*Clinometer*) ………… 3145
測量 (*Measurement*) ………… 3146
測量計 (*Survey meter*) ………… 3146
測量員太空船 (*Surveyor spaceship*) ………… 3146
測量電流之器具 (*Current measuring instrument*) ………… 3146
測量範圍 (*Range of measurement*) ………… 3147
測距儀 (*Telemeter*) ………… 3147
測微計 (*Micrometer*) ………… 3148
測調幅表 (*Percentage modulation meter*) ………… 3148
測輻射熱計 (*Radio-balance*) ………… 3148
測驗平板之製做 (*Manufacture of proof plane*) ………… 3150
測驗用振盪器 (*Test oscillator*) ………… 3151
湯川介子 (*Yukawa meson*) ………… 3152
湯川位能 (*Yukawa potential*) ………… 3152
湯川秀樹 (*Hideki Yukawa* 1907-) ………… 3152
湯川秀樹位函數 (*Yukawa potential function*) ………… 3153
湯木生 (*William Thomson* 1824—1907 ;
Joseph John Thomson 1856—1940 ;
George Paget Thomson 1892-) ………… 3153
湯木生原子模型 (*Thomson's model of atoms*) ………… 3154
湯木生原子學說 (*Thomson's theory of atoms*) ………… 3155
湯木生振動公式 (*Thomson's formula of vibration*) ………… 3156
湯木生效應 (*Thomson's effect*) ………… 3156
湯木生實驗 (*Thomson's experiment*) ………… 3157

湯里士 (*Charles Hard Townes* 1915 -) ………… 3159
湯普森 (*Benjamin Thompson* 1753—1814) ………… 3160
渦旋 (*Eddy vortex*) ………… 3160
渦旋度 (*Vorticity*) ………… 3160
渦絲 (*Vortex filament*) ………… 3161
渦管 (*Vortex tube*) ………… 3161
渦環 (*Vortex ring*) ………… 3161
渦電流 (*Eddy current*) ………… 3161
渦電流損失 (*Eddy current loss*) ………… 3163
渦輪 (*Turbine*) ………… 3163
渦輪發動機 (*Turbine engine*) ………… 3165
渦輪發電機 (*Turbo-generator*) ………… 3165
湍流 (*Turbulent flow*) ………… 3166
涅恩斯特 (*Walther Nernst* 1864—1941) ………… 3170
涅恩斯特熱定理 (*Nernst heat theorem*) ………… 3170
焰光譜 (*Flame spectrum*) ………… 3171
焚風 (*Foehn*) ………… 3171
無人太空船 (*Astronautless spacecraft*) ………… 3171
無方向性微音器 (*Non-directional microphone*) ………… 3172
無功功率 (*Reactive power*) ………… 3172
無功功率計 (*Wattless power meter*) ………… 3172
無功部分 (*Wattless component*) ………… 3172
無功電流 (*Wattless current*) ………… 3172
無向性介質 (*Isotropic medium*) ………… 3172
無向量 (*Scalar*) ………… 3172
無安電路 (*Astable circuit*) ………… 3172

無序 (*Disordered*) ……………………………… 3172
無序合金 (*Disordered alloys*) ……………………………… 3174
無抗電路 (*Non-reactive circuit*) ……………………………… 3175
無定向天線 (*Non-directive antenna*) ……………………………… 3175
無定向針 (*Astatic needle*) ……………………………… 3175
無定向電流計 (*Astatic galvanometer*) ……………………………… 3175
無定形 (*Amorphous*) ……………………………… 3175
無風 (*Stagnant air*) ……………………………… 3176
無限小轉動 (*Infinitesimal rotation*) ……………………………… 3176
無限宇宙 (*Infinite universe*) ……………………………… 3177
無限阻抗檢波器 (*Infinite impedance detector*) ……………………………… 3179
無限矩陣 (*Infinite matrix*) ……………………………… 3179
無限深的方阱狀位能 (*Infinite square well potential energy*) ……………………………… 3180
無規行走 (*Random walk*) ……………………………… 3182
無規噪音 (*Random noise*) ……………………………… 3183
無旋轉流 (*Irrotational flow*) ……………………………… 3183
無液氣壓計 (*Aneroid barometer*) ……………………………… 3184
無偏線 (*Agonic line*) ……………………………… 3184
無載 (*No-load*) ……………………………… 3184
無感加載 (*Non-inductive load*) ……………………………… 3185
無感電阻 (*Non-inductive resistor*) ……………………………… 3185
無感電容器 (*Non-inductive capacitor*) ……………………………… 3185
無感電路 (*Non-inductive circuit*) ……………………………… 3185
無感線圈 (*Non-inductive coil*) ……………………………… 3185
無畸形像 (*Distortionless image*) ……………………………… 3185

無源偶極子 (*Passive dipole*)……3185
無傾線 (*Aclinic line*)……3185
無線電 (*Radio ; Wireless*)……3185
無線電干涉儀 (*Radio interferometer*)……3186
無線電干擾 (*Radio interference*)……3186
無線電中繼臺 (*Radio relay station*)……3186
無線電回波 (*Radio-echo*)……3186
無線電臺 (*Radio station ; Wireless station*)……3187
無線電波 (*Radio wave*)……3188
無線電波之特性 (*Radio-wave characteristics*)……3194
無線電波之傳播 (*Radio wave propagation*)……3194
無線電波波譜 (*Radio-wave spectrum*)……3195
無線電波道 (*Radio channel*)……3195
無線電定位儀 (*Radio fix*)……3195
無線電星 (*Radio star*)……3195
無線電流星 (*Radio meteor*)……3196
無線電航域 (*Radio courses*)……3196
無線電原理 (*Radio principle*)……3196
無線電探空儀 (*Radiosonde*)……3196
無線電氣象儀 (*Radio meteorograph*)……3196
無線電浮標 (*Radio buoy*)……3196
無線電接收機 (*Radio receiver*)……3197
無線電控制 (*Radio control*)……3198
無線電通信 (*Radio communication*)……3198
無線電探測 (*Radio direction finder*)……3199
無線電探礦 (*Radio prospecting*)……3200

無線電望遠鏡　(*Radio telescope*)……3200
無線電視　(*Radio television*)……3200
無線電報　(*Radio telegraph ; Wireless message*)……3201
無線電報員　(*Radio operator*)……3201
無線電發射　(*Radio transmission*)……3202
無線電發射機　(*Radio transmitter*)……3202
無線電測高計　(*Radio altimeter*)……3202
無線電測微計　(*Radio micrometer*)……3202
無線電路　(*Radio circuit*)……3203
無線電話　(*Radio telephone*)……3203
無線電話字母讀法　(*Radio telephone phonetic alphabet*)3203
無線電話發射機　(*Radio telephone transmitter*)……3204
無線電傳眞　(*Radio facsimile*)……3204
無線電網　(*Radio network*)……3204
無線電播音室　(*Radio studio*)……3204
無線電廣播　(*Radio broadcasting*)……3205
無線電廣播電臺　(*Radio broadcasting station*)……3206
無線電頻段　(*Radio spectrum*)……3206
無線電噪音　(*Radio noise*)……3206
無線電導航臺　(*Radio beacon*)……3206
無線電導航術　(*Radio navigation*)……3206
無線電導航儀　(*Radionavigation instrument*)……3206
無線電轉播　(*Broadcast relay*)……3206
無線電羅盤　(*Radio compass*)……3206
無機食物　(*Inorganic food*)……3207

無噪聲調諧 (*Noiseless tuning*) ………… 3207
無聲地帶 (*Dead spot*) ………… 3207
無雜音錄音 (*Noiseless recording*) ………… 3207
無儲攝像管 (*Non-storage camera tube*) ………… 3207
無變壓器的接收機 (*Transformerless receiver*) ………… 3207
焦比 (*Focal ratio*) ………… 3207
焦平面 (*Focal plane*) ………… 3207
焦石膏 (*Plaseter of paris*) ………… 3208
焦耳 (*James Prescott Joule* 1818—1889) ………… 3208
焦耳、湯木生效應 (*Joule-Thomson effect*) ………… 3208
焦耳定律 (*Joule's law*) ………… 3210
焦耳效應 (*Joule effect*) ………… 3210
焦耳循環 (*Joule cycle*) ………… 3211
焦耳實驗 (*Joule's experiment*) ………… 3211
焦耳熱 (*Joule's heat*) ………… 3212
焦度 (*Power of a lens*) ………… 3213
焦散 (*Caustic*) ………… 3213
焦散曲線 (*Caustic curve*) ………… 3213
焦散面 (*Caustic surface*) ………… 3213
焦距 (*Focal length*) ………… 3214
焦距之測定 (*Determination of focal length*) ………… 3214
焦距比數 (*F number*) ………… 3215
焦熱電 (*Pyroelectricity*) ………… 3216
焦點 (*Focus*) ………… 3216
焦點之深度 (*Focal depth*) ………… 3216
焦點準直器 (*Foco-collimator*) ………… 3217

琥珀 (*Amber*) …… 3218
琴管 (*Organ pipe*) …… 3219
畫面 (*Frame*) …… 3223
畫面比 (*Aspect ratio*) …… 3223
畫幕 (*Viewing screen*) …… 3223
畫像分析器 (*Image dissector*) …… 3223
畫像失眞 (*Image distortion*) …… 3223
畫像合成信號 (*Composite picture signal*) …… 3223
畫像負相 (*Negative picture phase*) …… 3223
畫像接收機 (*Image receiver*) …… 3223
畫像頻率 (*Picture frequency*) …… 3224
畫像濾波器 (*Picture filter*) …… 3224
發火栓 (*Ignitor*) …… 3224
發光 (*Luminescence*) …… 3224
發光度 (*Luminosity*) …… 3224
發光強度 (*Luminous intensity*) …… 3224
發光體 (*Luminous body*) …… 3225
發光體效率 (*Efficiency of luminous body*) …… 3225
發音器 (*Reproducer*) …… 3225
發送 (*Transmission*) …… 3225
發送機 (*Transmitter*) …… 3226
發射 (*Emission*) …… 3227
發射元件 (*Radiating element*) …… 3227
發射光譜 (*Emission spectrum*) …… 3227
發射角 (*Angle of radiation*) …… 3228
發射效率 (*Emission efficiency*) …… 3228

發射場 (*Radiation field*) ···································· 3228
發射極 (*Emitter*) ··· 3228
發射極接地式放大器 (*Grounded emitter amplifier*) ····· 3228
發射試驗 (*Emission test*) ···································· 3228
發射電功率 (*Radiated power*) ······························· 3228
發射電阻 (*Radiation resistance*) ···························· 3229
發射臺 (*Transmitting station*) ······························· 3229
發射管 (*Transmitting tube*) ·································· 3229
發射管燈絲電路 (*Filament circuit of transmitting tube*) ··· 3229
發射模型 (*Radiation pattern*) ································ 3230
發射線路 (*Transmitting circuit*) ····························· 3230
發射體 (*Radiating body*) ······································ 3230
發動機 (*Engine*) ·· 3230
發動機之冷卻系統 (*Cooling system of engine*) ·········· 3231
發散透鏡 (*Divergent lens*) ···································· 3231
發電 (*Electrify*) ·· 3231
發電用核反應器 (*Nuclear reactor for generating station*) ·· 3231
發電機 (*Dynamo or electric generator*) ···················· 3234
發電機定則 (*Generator rule*) ································ 3236
發話機 (*Transmitter*) ·· 3236
發聲器 (*Sounder*) ·· 3237
發聲體 (*Sounding body*) ······································ 3237
短半徑之測量 (*Measure of short radius*) ·················· 3237
短波 (*Short wave*) ·· 3238

短波發射機　(*Short wave transmitter*) ………… 3239
短波變頻器　(*Short wave converter*) ………… 3239
短時間之測定　(*Determination of short time*) ………… 3239
短程力　(*Short range force*) ………… 3241
短距離輻射治療　(*Brachytherapy*) ………… 3241
短路　(*Short circuit*) ………… 3242
短路電流　(*Short circuit current*) ………… 3242
短噸　(*Short ton*) ………… 3243
硬水　(*Hard water*) ………… 3243
硬心之揑縮系　(*Hard-core pinch*) ………… 3244
硬性電子管　(*Hard tube*) ………… 3244
硬性*X*射線　(*Hard X-ray*) ………… 3244
硬紙板　(*Pressboard*) ………… 3245
硬焊接　(*Hard welding*) ………… 3245
硬超導性　(*Hard superconductivity*) ………… 3245
硬橡膠　(*Ebonite ; Hard rubber*) ………… 3246
程式　(*Program*) ………… 3246
稀土元素　(*Rare earth element*) ………… 3246
稀有氣體　(*Rare gas ; Noble gas*) ………… 3248
稀氣體　(*Dilute gas*) ………… 3250
稀疏　(*Rarefaction*) ………… 3250
稀薄空氣中之放電現象　(*Electric discharge phenomenon of thin air*) ………… 3250
筆形管　(*Pencil tube*) ………… 3251
等力線　(*Isodynamic line*) ………… 3251
等加速運動　(*Uniformly accelerated motion*) ………… 3251

等加速轉動 (*Uniformly accelerated rotation*) ············ 3252
等向性 (*Isotropic*) ············ 3253
等先設或然率假設 (*Postulate of equal a prior probability*) ············ 3253
等光程點 (*Aplanatic point*) ············ 3254
等同溫度定律 (*Law of equal temperature*) ············ 3254
等角加速度轉動 (*Uniformly angular accelerated rotation*) 3254
等角速度轉動 (*Uniform angular rotation*) ············ 3254
等位面 (*Equipotential surface*) ············ 3254
等位體 (*Equipotential body*) ············ 3255
等面積定律 (*Law of equal areas*) ············ 3255
等值單擺 (*Equivalent simple pendulum*) ············ 3256
等效天線 (*Equivalent antenna*) ············ 3256
等效面電流密度 (*Equivalent surface current density*) ·· 3256
等效信號區 (*Equisignal zone*) ············ 3258
等效柵壓 (*Equivalent grid voltage*) ············ 3258
等效原理 (*Principle of equivalence*) ············ 3258
等效屏壓 (*Equivalent plate voltage*) ············ 3262
等效電阻 (*Equivalent resistance*) ············ 3263
等效電流 (*Equivalent current*) ············ 3263
等效電容 (*Equivalent capacitance*) ············ 3264
等效電路 (*Equivalent circuit*) ············ 3265
等效網絡 (*Equivalent network*) ············ 3265
等時性 (*Isochronism*) ············ 3269
等張比容 (*Parachor*) ············ 3269
等速直線運動 (*Uniform rectilinear motion*) ············ 3269

等速率圓周運動 (*Uniform circular motion*) ………… 3270
等速運動 (*Uniform motion*) ………… 3273
等速運動電荷 (*Uniform motion electric charge*) ………… 3274
等速轉動 (*Uniform rotation*) ………… 3274
等強度曲線 (*Isointensity contours*) ………… 3274
等偏線 (*Isogonic lines*) ………… 3275
等幅波 (*Undamped wave ; Continuous wave*) ………… 3275
等幅波發射 (*Undamped wave transmission*) ………… 3275
等幅波發送 (*Continuous wave transmission*) ………… 3275
等幅波發送機 (*Continuous wave transmitter*) ………… 3275
等幅波超外差接收機 (*Continuous wave super-heterodyne receiver*) ………… 3279
等幅振盪 (*Undamped oscillation ; Continuous oscillation*) ………… 3280
等程音階 (*Equitempered scale*) ………… 3280
等電子數序 (*Iso-electronic sequence*) ………… 3280
等電子譜 (*Iso-electronic spectra*) ………… 3280
等電子離子 (*Iso-electronic ions*) ………… 3281
等電位陰極 (*Unipotential cathode*) ………… 3281
等溫楊格模數 (*Isothermal Young's modulus*) ………… 3282
等溫過程 (*Isothermal process*) ………… 3282
等溫膨脹 (*Isothermal expansion*) ………… 3283
等溫壓縮係數 (*Isothermal compressibility*) ………… 3284
等溫變化 (*Isothermal change*) ………… 3284
等熵絕熱過程 (*Isentropic adiabatic process*) ………… 3284
等熵過程 (*Isentropic process*) ………… 3285

等衡定律 (*Law of isostasy*)……3285
等劑量曲線 (*Isodose curves*)……3285
等臂天平 (*Balance of equal arms*)……3285
等壓電源之聯結 (*Combination of equal voltage sources*)3285
等壓線 (*Isobar*)……3286
策動力 (*Driving force*)……3287
絞線 (*Stranded wire*)……3287
結 (*Junction*)……3287
結合能 (*Binding energy*)……3287
結晶水 (*Water of crystallization*)……3290
結晶排列 (*Crystalline array*)……3290
結構因數 (*Structure factor*)……3291
結點定理 (*Junction theory*)……3291
絕對水平線 (*Absolute horizon*)……3293
絕對介質係數 (*Absolute medium coefficient*)……3293
絕對光度 (*Absolute luminosity*)……3293
絕對安培 (*Abampere*)……3293
絕對折射率 (*Absolute index of refraction*)……3293
絕對垂直 (*Absolute vertical*)……3294
絕對重量 (*Absolute weight*)……3294
絕對星等 (*Absolute magnitude*)……3294
絕對高度 (*Absolute height*)……3296
絕對庫倫 (*Abcoulomb*)……3296
絕對參考系 (*Absolute reference system*)……3296
絕對單位 (*Absolute units*)……3296
絕對單位制 (*Absolute system of units*)……3296

絕對黑體　(*Absolute black-body*) 3302
絕對溫度　(*Absolute temperature*) 3302
絕對零度　(*Absolute zero*) 3307
絕對靜電單位電量　(*Absolute electrostatic unit of quantity*) 3308
絕對導磁率　(*Absolute permeability*) 3308
絕對壓力　(*Absolute pressure*) 3308
絕對濕度　(*Absolute humidity*) 3308
絕對黏滯性　(*Absolute viscosity*) 3308
絕熱去磁　(*Adiabatic demagnetization*) 3309
絕熱去磁裝置　(*Adiabatic demagnetization installation*)3310
絕熱退磁　(*Adiabatic demagnetization*) 3311
絕熱過程　(*Adiabatic process*) 3311
絕熱隔牆　(*Adiabatic wall*) 3312
絕熱膨脹　(*Adiabatic expansion*) 3312
絕熱壓縮　(*Adiabatic compression*) 3312
絕熱變化　(*Adiabatic change*) 3312
絕緣　(*Insulation*) 3313
絕緣支架　(*Insulating support*) 3313
絕緣布　(*Insulating cloth*) 3313
絕緣材料　(*Insulating material*) 3313
絕緣破裂　(*Insulator breakdown*) 3313
絕緣強度　(*Insulating strength*) 3314
絕緣接點　(*Insulating tape*) 3314
絕緣測試器　(*Insulation tester*) 3314
絕緣臺　(*Base insulator*) 3314

絕緣漆 (*Insulating varnish*) ······ 3314
絕緣線 (*Insulated wire*) ······ 3314
絕緣體 (*Insulator*) ······ 3315
絲包線 (*Silk-covered wire*) ······ 3316
絲柵起偏器 (*Filament grid polaroid*) ······ 3316
絲極 (*Filament*) ······ 3317
給呂薩克 (*Joseph Louis Gay-Lussac* 1778—1850) ······ 3317
給呂薩克定律 (*Gay-Lussac's law*) ······ 3318
給熱燈絲 (*Heater*) ······ 3318
肅靜時間 (*Quiet period*) ······ 3318
華氏溫標 (*Fahrenheit's temperature scale*) ······ 3318
華倫海 (*Gabriel Daniel Fahrenheit* 1686—1736) ······ 3319
菊池線 (*Kikuchi lines*) ······ 3319
萊頓佛羅斯特現象 (*Leidenfrost's phenomenon*) ······ 3319
菲次吉拉 (*George Francis Fitzgerald* 1851—1901) ······ 3320
菲克定律 (*Fick's law*) ······ 3320
菌光 (*Bacteria light*) ······ 3321
菱形天線 (*Rhombic antenna ; Diamond antenna*) ······ 3321
菱形結構 (*Diamond structure*) ······ 3322
虛功 (*Virtual work*) ······ 3322
虛功原理 (*Principle of virtual work*) ······ 3322
虛光子 (*Virture photon*) ······ 3322
虛位移 (*Virtual displacement*) ······ 3323
虛位移原理 (*Virtual displacement principle*) ······ 3324
虛陰極 (*Virtual cathode*) ······ 3326
虛焦點 (*Virtual focus*) ······ 3326

虛態　(*Virtual state*) ………… 3326
虛像　(*Virtual image*) ………… 3327
虛聲子　(*Virtual phonon*) ………… 3327
蛛網式線圈　(*Spider web coil*) ………… 3328
蛛網雲母碟　(*Spider mica*) ………… 3328
裂斷強度　(*Breaking strength*) ………… 3328
補色　(*Complementary colors*) ………… 3328
補償　(*Compensation*) ………… 3328
補償板　(*Compensating plate*) ………… 3328
補償定理　(*Compensation theorem*) ………… 3331
補償線圈　(*Compensating coil*) ………… 3331
補償器　(*Compensator*) ………… 3331
補償擺　(*Compensated pendulum*) ………… 3331
補償擺輪　(*Compensated balanced wheel*) ………… 3332
視午　(*Apparent noon*) ………… 3332
視尺寸　(*Apparent size*) ………… 3332
視太陽日　(*Apparent solar day*) ………… 3333
視太陽時　(*Apparent solar time*) ………… 3334
視功率計　(*Volt-ampere-hour meter*) ………… 3334
視角　(*Visual angle*) ………… 3334
視重　(*Apparent weight*) ………… 3335
視時　(*Apparent time*) ………… 3336
視差　(*Parallax*) ………… 3336
視深　(*Apparent depth*) ………… 3336
視量　(*Apparent size*) ………… 3337
視場　(*Field of view*) ………… 3337

視場透鏡 (*Field of view lens*) 3337
視運動 (*Apparent motion*) 3339
視網膜 (*Retina*) 3339
視線速度 (*Radial velocity ; Line of sight velocity*) 3340
視線運動 (*Radial motion*) 3340
視頻 (*Apparent frequency*) 3340
視頻放大器 (*Video-frequency amplifier*) 3341
視頻放大器的脈衝響應 (*Pulse response of video frequency amplifier*) 3342
視頻脈衝 (*Video pulse*) 3345
視膨脹 (*Apparent expansion*) 3345
視燭光 (*Apparent candle power*) 3345
視覺校準法 (*Visual alignment*) 3346
視覺敏銳度 (*Visual acuity*) 3346
視覺暫留 (*Persistence of vision*) 3346
費子 (*Fermions*) 3347
費米 (*Enrico Fermi* 1901—1954) 3348
費米、狄悅克氣體 (*Fermi-Dirac gas*) 3349
費米、狄悅克統計力學 (*Fermi-Dirac statistics*) 3349
費米、狄悅克分佈 (*Fermi-Dirac distribution*) 3349
費米子 (*Fermions*) 3350
費米共振 (*Fermi resonance*) 3350
費米年積 (*Fermi age*) 3350
費米空洞 (*Fermi hole*) 3352
費米面 (*Fermi surface*) 3352
費米能量 (*Fermi energy*) 3355

費米能階 (*Fermi level*) …… 3356

費米氣體 (*Fermi gas*) …… 3356

費米氣體模型 (*Fermi gas model*) …… 3357

費米堆 (*Fermi pile*) …… 3358

費米球 (*Fermi sphere*) …… 3361

費米常數 (*Fermi constant*) …… 3362

費米溫度 (*Fermi temperature*) …… 3362

費瑪原理 (*Fermat's principle*) …… 3362

費曼圖 (*Feynman diagram ; Feynman graph*) …… 3365

費壁 (*Phoebe*) …… 3365

貿易風 (*Trade wind*) …… 3366

越洋通信業務 (*Transoceanic service*) …… 3366

越距 (*Skip distance*) …… 3366

超子 (*Hyperous*) …… 3366

超外差接收機 (*Super-heterodyne receiver*) …… 3368

超外差電晶體收音機 (*Super-heterodyne transistor receiver*) …… 3376

超再生接收機 (*Super-regenerative receiver*) …… 3379

超再生調頻檢波器 (*Fremodyne*) …… 3380

超交換 (*Super-exchange*) …… 3380

超共軛 (*Hyperconjugation*) …… 3380

超冷凍 (*Super-refrigeration*) …… 3380

超低溫學 (*Cryogenics*) …… 3384

超低頻 (*Very low frequency*) …… 3385

超重 (*Over weight*) …… 3385

超重元素 (*Super-heavy element*) ······ 3385
超前角 (*Angle of lead*) ······ 3386
超音波 (*Ultrasonic wave ; Supersonic wave*) ······ 3386
超音頻 (*Superaudio frequency*) ······ 3389
超流體 (*Superfluid*) ······ 3389
超核 (*Hypernucleus ; Hyperfragment*) ······ 3391
超級雷達 (*Super radar*) ······ 3391
超級磁石 (*Super magnet*) ······ 3392
超弱交互作用 (*Superweak interaction*) ······ 3394
超高頻 (*V.H.F. ; S.H.F. ; U.H.F.*) ······ 3396
超高壓力 (*Super pressure*) ······ 3396
超控制管 (*Super-control tube*) ······ 3398
超速離心機 (*Ultracentrifuge*) ······ 3398
超距力 (*Action at a distance force*) ······ 3398
超距作用 (*Action at a distance*) ······ 3398
超短波 (*Ultra short wave*) ······ 3399
超短波收發機 (*Ultra high frequency transceiver*) ······ 3399
超短波接收機 (*Ultra high frequency receiver*) ······ 3400
超短波發射機 (*Ultra high frequency transmitter*) ······ 3400
超晶格線 (*Super-lattice lines*) ······ 3400
超鈽元素 (*Transplutonium element*) ······ 3400
超鈾元素 (*Transuranic element*) ······ 3400
超新星 (*Supernovae*) ······ 3409
超新星式爆炸 (*Supernovae explosion*) ······ 3411
超電荷 (*Hypercharge*) ······ 3411
超微量 (*Ultramicroscale*) ······ 3412

超精細結構 (*Hyperfine structure*) ………… 3412
超熱能中子 (*Epithermal neutron*) ………… 3415
超導性 (*Superconductivity*) ………… 3416
超導磁鐵 (*Superconductivity magnet*) ………… 3417
超導體 (*Superconductors*) ………… 3418
超導體B.C.S.理論 (*B.C.S. theory of superconductivity*) 3423
超導體轉變溫度 (*Transition temperature, superconductors*) ………… 3425
超壓力 (*Overpressure*) ………… 3425
超聲波 (*Ultrasonic wave; Supersonic wave*) ………… 3425
超聲波衰減 (*Ultrasonic attenuation*) ………… 3425
超聲速流動、亞聲速流動、跨聲速流動及過聲速流動 (*Supersonic flow, subsonic flow, transonic flow & hypersonic flow*) ………… 3425
超聲學 (*Ultrasonics*) ………… 3426
超臨界反應器 (*Supercritical reactor*) ………… 3426
超臨界質量 (*Supercritical mass*) ………… 3426
超額中子 (*Neutron excess*) ………… 3427
軸 (*Axis; Shaft*) ………… 3429
軸向量 (*Axial vectors*) ………… 3429
軸線 (*Axis*) ………… 3429
軸線相疊測驗 (*Squaring-on test*) ………… 3430
週 (*Cycle*) ………… 3430
週期 (*Period*) ………… 3430
週期光度曲線 (*Period-luminosity curve*) ………… 3431
週期光度關係 (*Period-luminosity relation*) ………… 3431

週期波 (*Periodic wave*) ………… 3432
週期表 (*Periodic table*) ………… 3432
週期性過程 (*Periodic process*) ………… 3432
週期律及週期表 (*Periodic law and periodic table*) ………… 3432
週期電流 (*Periodic current*) ………… 3433
週期運動 (*Periodic motion*) ………… 3433
週期運動的傅立葉分析 (*Fourier's analysis of periodic motion*) ………… 3434
週期變星 (*Periodic variable*) ………… 3436
進行波 (*Travelling wave*) ………… 3438
進行掃描 (*Progressive scanning*) ………… 3441
進氣導管 (*Inlet valve guide*) ………… 3441
進動 (*Precession*) ………… 3442
鄂惹效應 (*Auger effect*) ………… 3445
都卜勒 (*Christian Johann Doppler* 1803—1853) ………… 3445
都卜勒加濶 (*Doppler broadening*) ………… 3446
都卜勒原理 (*Doppler's principle*) ………… 3446
都卜勒效應 (*Doppler effect*) ………… 3446
都卜勒移動 (*Doppler shift*) ………… 3451
都卜勒寬展 (*Doppler broadening*) ………… 3455
量子 (*Quantum*) ………… 3456
量子力學 (*Quantum mechanics*) ………… 3456
量子力學假設 (*Postulates in quantum mechanics*) ………… 3462
量子穿隧 (*Quantum tunneling*) ………… 3463
量子流體 (*Quantum fluids*) ………… 3464
量子統計力學 (*Quantum statistical mechanics*) ………… 3464

量子場論　(*Quantum field theory ; Quantized field theory*) ······ 3465
量子電動力學　(*Quantum electrodynamics*) ······ 3465
量子漏　(*Quantum leakage*) ······ 3466
量子論　(*Quantum theory*) ······ 3467
量子數　(*Quantum number*) ······ 3471
量子數欠缺　(*Quantum defeat*) ······ 3471
量度　(*Measurements*) ······ 3473
量熱計　(*Calorimeter*) ······ 3475
量熱學　(*Calorimetry*) ······ 3475
量糖術　(*Saccharimetry*) ······ 3476
鈣光斑　(*Flocculi*) ······ 3476
鈦　(*Titanium*) ······ 3476
鈧　(*Scandium ; Sc*) ······ 3479
鈉 - 24　(*Sodium-24*) ······ 3480
鈉反應器　(*Sodium reactor*) ······ 3480
鈉石墨反應器　(*Sodium-graphite reactor*) ······ 3482
鈉的*D*線　(*D lines of sodium*) ······ 3483
鈉氣燈　(*Sodium vapour lamp*) ······ 3483
鈉燈光源　(*Sodium lamp source*) ······ 3483
閏年　(*Leap year*) ······ 3484
開口流體壓力計　(*To open manometer*) ······ 3484
開心式　(*Open-core*) ······ 3484
開循環反應器系統　(*Open-cycle reactor system*) ······ 3484
開路插座　(*Open circuit jack*) ······ 3484

開路電壓 (*Open-circuit voltage*) ……………… 3485
開管式壓力計 (*Open-tube manomet\(\)*) ……………… 3485
開關 (*Switch*) ……………… 3485
開關掣 (*On-off switch*) ……………… 3485
間接波 (*Indirect wave*) ……………… 3485
間接循環反應器系統 (*Indirect-cycle reactor system*) … 3485
間接照明 (*Indirect illumination*) ……………… 3485
間歇泉 (*Geyser*) ……………… 3486
間歇振盪 (*Blocking oscillator*) ……………… 3486
間熱式眞空管 (*Indirectly heated tube*) ……………… 3486
陽光暖氣 (*Warming air by sun-light*) ……………… 3487
陽核 (*Positive nucleus*) ……………… 3489
陽射線 (*Positive ray*) ……………… 3489
陽電 (*Positive electricity*) ……………… 3489
陽極 (*Anode ; Positive pole*) ……………… 3489
陽極射線 (*Anode ray*) ……………… 3490
陽極處理法 (*Anodic treatment*) ……………… 3493
陽曆 (*The solar calendar ; Gregorian calendar*) ……… 3493
陽螺旋 (*Male screw*) ……………… 3494
陽離子 (*Cation*) ……………… 3495
集射四極管 (*Beam tetrode*) ……………… 3495
集射屏 (*Beam forming plate*) ……………… 3495
集極接地式放大器 (*Grounded collector amplifier*) …… 3495
集電極 (*Collector*) ……………… 3495
集電極效率 (*Collector efficiency*) ……………… 3496
集電極電阻 (*Collector resistance*) ……………… 3496

集電環　(*Collecting ring*) ………… 3496
雲　(*Cloud*) ………… 3496
雲母　(*Mica*) ………… 3499
雲母片　(*Sheet mica*) ………… 3499
雲母玻璃　(*Micalex*) ………… 3499
雲母電容器　(*Mica capacitor*) ………… 3500
雲量　(*Cloud cover*) ………… 3500
雲霧室　(*Cloud chamber*) ………… 3500
順電冷卻　(*Paraelectric cooling*) ………… 3500
順電態　(*Paraelectric state*) ………… 3500
順磁共振　(*Paramagnetic resonance*) ………… 3501
順磁性　(*Paramagnetism*) ………… 3501
順磁質　(*Paramagnetic substance*) ………… 3504
順磁䨝射　(*Paramagnetism maser*) ………… 3505
馮卡曼　(*Theodore von Karman* 1881—1963) ………… 3505
黃色炸藥　(*T.N.T.*) ………… 3506
黃斑　(*Macula* ; *Yellow spot*) ………… 3506
黃道　(*Zodiac* ; *Ecliptic*) ………… 3506
黃道宮　(*Signs of the zodiac*) ………… 3506
黃道平面　(*Ecliptic plane*) ………… 3508
黃道光　(*Zodiacal light*) ………… 3508
黃道坐標　(*Ecliptic coordinates*) ………… 3510
黃銅礦　(*Chalcopyrite*) ………… 3511
黑子　(*Sunspot*) ………… 3511
黑白發射　(*Black and white transmission*) ………… 3511
黑白電視　(*Black and white television*) ………… 3511

黑面水平 (*Black level*) ······ 3511
黑暗星雲 (*Dark nebulae*) ······ 3511
黑暗視力 (*Scotopic*) ······ 3511
黑斯定律 (*Hess' law*) ······ 3512
黑體 (*Black-body*) ······ 3512
黑體輻射 (*Black-body radiation*) ······ 3512

十 一 畫

【乾冰】(Dry ice)

若在一大氣壓下二氧化碳(CO_2)冷卻到－78°C，可由氣體直接變成固體(不經液體之過程)，這種固體的二氧化碳即稱爲乾冰。乾冰受熱後不經液體而直接變成氣體。二氧化碳永遠不會變潮，所以可用作一種方便的冷凍劑。

【乾式硒整流器】(Dry selenium rectifier)

如圖 11－1 所示，在乾式硒整流器中，硒(Se)是熔融而塗飾於鐵片上的。硒上面則再以一層鉛(Pb)箔覆蓋之。鉛與硒之間形成一隔電層。此隔電層僅容電子沿鉛至硒的方向通過。如果將此種整流器與交流電源連接起來，則僅有符合該一方向的半波能夠通過。

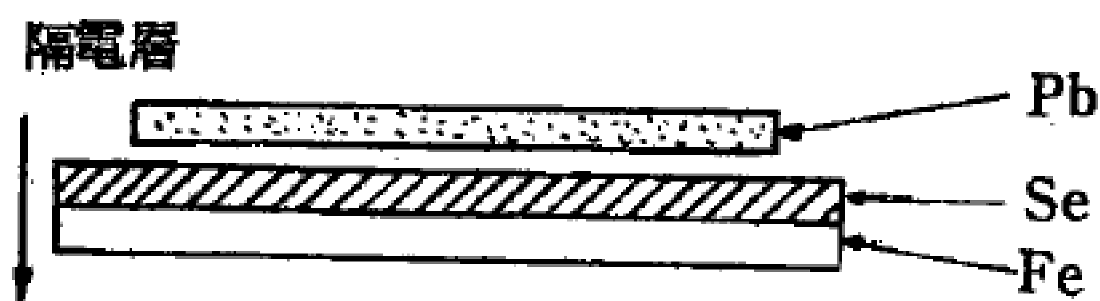


圖 11－1 乾式硒整流器的截面圖

【乾空氣】(Dry air)

空氣中含氮(*nitrogen*)78%、氧(*oxygen*)21%、氬(*argen*)1%、二氧化碳(*carbon dioxide*)0.03%者，稱爲乾空氣。

【乾電池】(Dry cell)

乾電池是以鋅(Zn)製成圓筒，作爲負極，而把氯化鋅($ZnCl$)與澱粉等混合而成的糊狀物裝在筒內，在筒內的中央插一碳棒，作爲正極。在它四周包著二氧化錳(MnO_2)及碳粉的混合物；在緊靠鋅筒的內壁，有用以吸取水份的吸水紙。在鋅筒外包以一層硬紙，用來保護，筒口用瀝青封固，以免蒸發。其電動勢約爲 1.5 V，可以串聯若干個製成 3 V、9 V、22.5 V 等各種電池。其用法簡單，攜帶方便，普通常用做直流電源，使用時不要放置於濕度太高或太低處，且應避免濕氣。

乾電池不能如蓄電池重複充電使用，不過電壓略降的乾電池，經充

電後亦可回復若干程度的電壓。

【乾電池組】(Dry battery)

乾電池組爲能貯蓄多量電之裝置，係連結多個來頓瓶 (*Leyden jar*) 或其他蓄電器而成。

【乾電解質電容器】(Dry electrolytic capacitor)

利用氧化鋁膜爲介質的電容器，爲體積小而容量大的電容器。

【乾電解質整流器】(Dry electrolytic rectifier)

利用氧化鋁膜爲介質的整流器稱之。

【乾態臨界】(Dry criticality)

反應器在沒有冷卻劑時所達到的臨界狀態。

參閱"臨界狀態 (*Criticality*) "條。

【乾燥空氣斷熱溫度直減率】(Dry adiabatic lapse rate)

乾燥空氣接近地面時，在斷熱情況中的溫度直減率。每 100公尺攝氏 1 度，或每 1,000呎華氏 5.5 度。

【乾濕球濕度計】(Psychrometer)

乾濕球濕度計之構造如圖 11 — 2 所示，由二支相同的溫度計組成。一支指示當時的氣溫，另一支的水銀球裹以濕布，布下端浸在水瓶中，使其常濕。如大氣中水汽未達飽和，濕布上水不停蒸發，而從濕球吸取汽化熱，因此使濕球溫度降低，當時兩溫度計的溫度差數隨濕布水份蒸發快慢而定。也就是隨當時大氣中濕度的大小而定。由這兩計所示的溫度差和當時的氣溫，就可從濕度表查出當時的相對濕度。

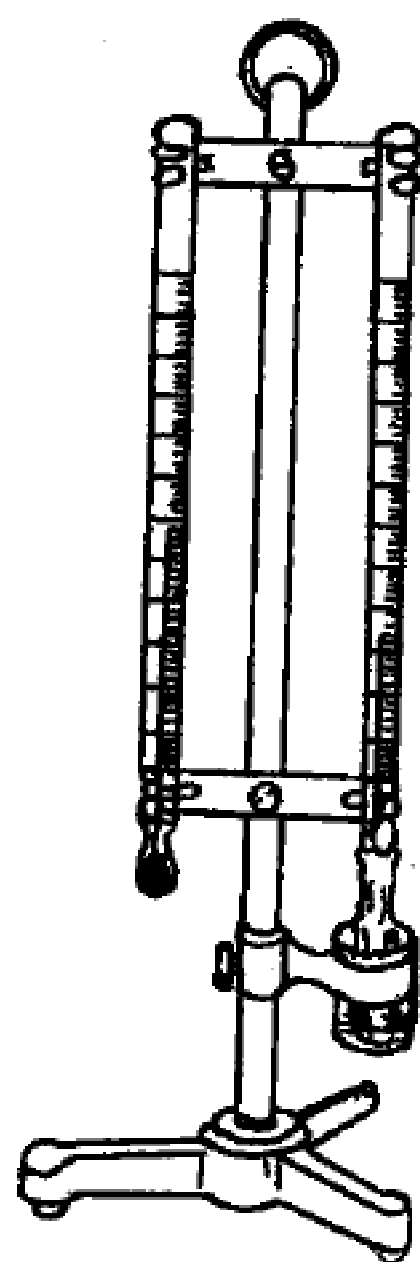


圖11 — 2
乾濕球濕度計

【偏向】(Variation ; Deviation)

卽變化或變動。由於地磁北極與地理北極並不相合，乃引起磁羅盤上之誤差。此誤差等於一已定地方之磁子午圈與眞子午

圈間之角度，亦即眞北方向及磁針所指北磁極方向間之角度，是爲偏向，或稱偏差。設磁極在眞北以東則標以“ ＋ ”號，反之以“ － ”號加在偏向量之前。

【偏向角】(Angle of deviation)

折射線與入射線所作之角度常名爲折射線之偏向角。白光中以紅光偏向角最小，紫光偏向角最大。當入射角等於出射角時，其值最小，稱爲最小偏向角。

【偏向屏】(Deflecting plates)

陰極射線管的偏向屏有兩對，互成直角，當電荷一齊射入時，電子射線即依垂直或水平的合力而偏向。

【偏差】(Deviation ; Declination)

頻率瞬時最大改變範圍，即偏向。

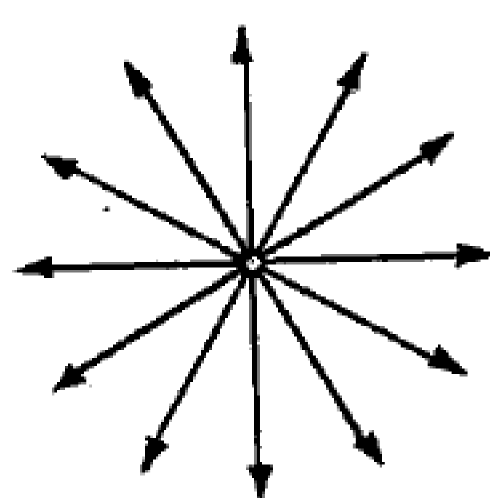
參閱“ 偏向 (*Variation* ; *Deviation*) ”條。

【偏差比】(Deviation ratio)

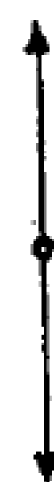
調頻波的一個指數。指示頻率瞬時改變的程度。

【偏振】(Polarization)

又稱極化或偏極化亦稱爲偏化。光波通過一定介質時方向會改變，其變動均在同一平面內進行，如圖11－3所示。



(a)在普通光線之中，振動可循所有垂直於光線本身之方向進行。



(b)偏振光只能循著某一垂直於其本身之特定方向進行。

圖11－3

光之偏振現象爲橫振波之獨具特性，故凡波動有偏振性者皆爲橫波。此現象係法國物理學家馬呂士 (*Etienne Louis Malus*) 於1808 年

發現。

【偏振片】(Polaroid sheet)

偏振片即碘原子與聚乙烯醇(*polyvinyl alcohol*)的長分子聚合而成之薄板，此種薄板可使兩種光線中之一種，能夠不損失地完全透過，而另一種卻十分有效地被吸收。此透射光爲線性偏振光，這種薄板即稱爲偏振片。

【偏振平面】(Plane of polarization)

當非偏振光以一特殊角度稱爲布加士特角(*Brewster's angle*)射至一玻璃片，反射的光爲平面偏振光，即光波中的電場(或磁場)向量恆在同一平面內變化。含電場方向及波進行方向的平面稱爲偏振平面。

【偏振光】(Polarized light)

由電磁理論得知光是一種電磁輻射，屬於横波。其電向量和磁向量振動的方向與傳播方向成直角。圖 11－4 所繪傳播中的電磁波內各點$\vec{E}$向量的振動彼此平行。且在傳播方向形成平面(振動面)，我們稱此波爲平面偏振波，或直線偏振波。平面偏振波中所有的振動面皆互相平行。

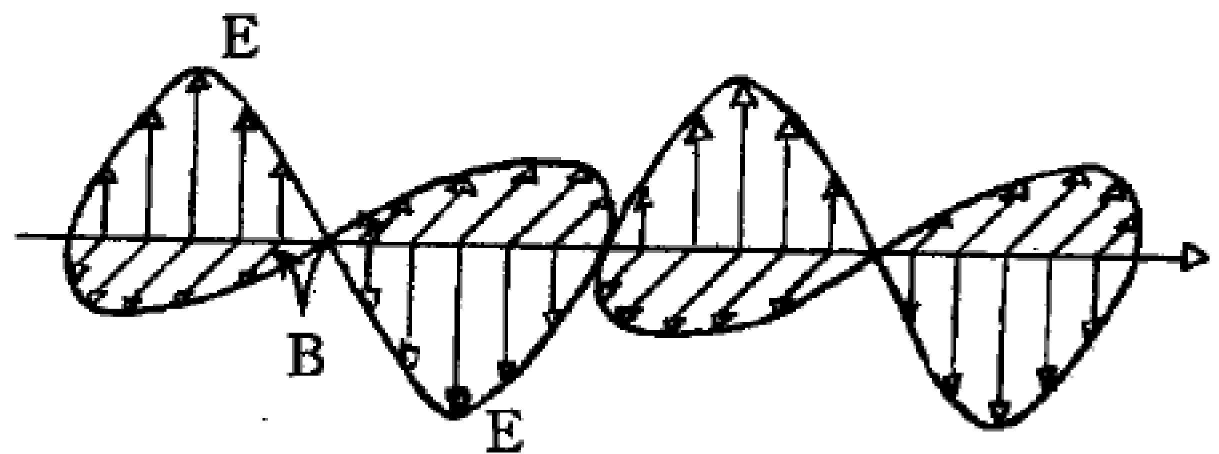


圖 11－4

無線電波和微波等是由雙極構成的發射天線中電荷上下湧動產生的，因此很容易呈現平面偏振。通常可見光光源的輻射體是各自爲政的原子與分子，所以沿一定方向傳播的光是由無數互不相關的波列組成，而各波列的振動面對傳播方向的方位均散亂無序，這些光雖仍屬横波但未偏振。要獲得偏振光可藉助於人造偏振片。

光波的振動在水平方向的平面，這種光稱爲水平線偏振光。同理，光波的振動在垂直方向的平面，則稱之爲垂直線偏振光。有些光的截面型式是一個圓，這種光即稱爲圓偏振光，又因旋轉方向之不同，可分爲

右旋和左旋圓偏振光。又有些光波之截面型式呈橢圓形，此種光即稱爲橢圓偏振光。

人的眼睛無法察覺偏振現象，但很多昆蟲和甲殼類動物卻對它非常敏感，牠們的運動方向就與偏振光方向有關。大自然中遇到部分偏振光的機會很多。例如，由彩虹射來的光波已被偏振，由藍天（特別是自與陽光和觀察者連線相垂直的方向）射來的光是部分偏振光；經平滑面，像海水、湖水、窗戶玻璃、甚至街道所反射的光也被部分偏振。要觀察這些偏振現象，可以將起偏太陽眼鏡中一只鏡片置於一隻眼前，面對天空、彩虹、或其他適當物體，轉動鏡片，則光的強度發生變化，旋轉一週會經過兩次極強時，此極強處相垂直的位置又會出現兩次極小。

有三種方法可剔除其他各向振動以產生偏振光：

1. 使光線通過單軸晶系之晶體（如方解石）而發生雙折射。

2. 使光線於入射角等於偏振角（就玻璃而論爲56°）之情況下反射。

3. 利用折射分光在反射分光完全偏振的情況下所呈現之剩餘效應。

【偏振光光源】（Sources of polarized light）

光是一種電磁波。所謂電磁波，是電磁場有了波動。電磁場是用一個電場強度與一個磁場強度來代表，這兩者都是向量（就是有大小與方向）。電磁波可視爲空間各點的這些向量不斷在振動，就好比水波是水面各點在做上下振動。水波也會有前後（順著波進行的方向而言）振動，那就是縱波的部分。光波沒有縱波部分，所以電磁場強度的振動方向，永遠和波前進方向相垂直（只有上下或左右振動）。

光線穿過透明體時，有時會有奇怪現象發生。有些透明體並非完全的，它只讓在某一方向（譬如說上下方向）振動的電磁波穿過，左右振動的部分就被吸收掉。把這透明體旋轉一下，如果入射光只在某一方向

振動的話旋轉透明體至某一角度，便會變成不透明體。

但事實上，入射光很少只在特定方向振動，因爲普通光源是物體高溫下輻射出來的。高溫的物體、分子、原子、離子或電子等會做各種不規則的振動，放射出的電磁波，振動便極不規則，平均起來，各方向都有差不多等強度的振動，這樣的光稱爲非偏振光。

製造偏振光（只在某一特別方向振動的光）通常有兩個方法：一是用上述透明體，把某一方向的光全部吸收掉，透過的光便只在垂直方向振動了。

另一方法是嚴格控制光源，雷射（*laser*）就是一個例子。

【偏振光鏡】（Polariscope）

普通應用於翻拍或其他有反射光妨礙時，以除去反射光用，但也可用在物理光學實驗使用。

【偏振角】（Angle of polarization）

又名布如士特角（*Brewster's angle*）。

詳閱“反射起偏器（*Reflected polarizer*）”條。

【偏振計】（Polarimeter）

凡光如日光或各種燈光，係向各種方向振動。其振動之方向，即偏振之狀態，因放射體之構造而定。一般排列不規則之粒子（氣體、液體、固體等）所放出光之振動，係向無數方向進行。其對於光之吸收亦無振動方向之選擇性，若光之振動限於某特定方向，則發光體或透光體之粒子，必有某一定空間排列。

若將自然光通過尼可耳（*Nicol*）稜鏡，則可得某一定方向之平面偏振，因尼可耳稜鏡只可通過某一定方向之平面偏振。所以若兩尼可耳稜鏡互成直角時，光線完全不能通過。但於兩互成直角之尼可耳稜鏡間放置如蔗糖溶液或薄荷油等旋光性物質時，因進入第二尼可耳稜鏡之光已與其偏振光面非成直角，故有一部分光線可通過，所以視界並非完全黑

暗。若要使視界完全黑暗，必須旋轉第二尼可耳稜鏡若干角度。此角度卽爲該物質之旋光度。一般向左轉時，可使偏振計之視界黑暗者，稱爲左旋性（*laevo rotatory*）物質，常以 *l* 或“ — ”號表示之。向右者稱爲右旋性（*dextro rotatory*）物質，以 *d* 或“ + ”號表之。此種旋轉偏振面之性質，稱爲旋光性或光學活性（*optical activity*）。一般分子中原子排列不對稱之物質，均具有使偏振面旋轉之性質。所以由其光學活性，可得知其分子具有不對稱之構造。根據上述原理，用以測定物質旋光性之裝置稱爲偏振計，其外觀如圖 11 — 5 所示。因一般實際觀測時，求其視野最黑暗之位置，頗難精密決定。因此現在所採用之偏振計，多採用半影式（*half-shadow*）或三影式（*triple-shadow*）。此兩者之外觀，內部之構造均相似。至於其設計之原理亦相同，皆係藉同視野中明暗面之比較，易於求得正確之旋光度。一般實驗室常用者爲立比奇（*Lippich*）偏振計。

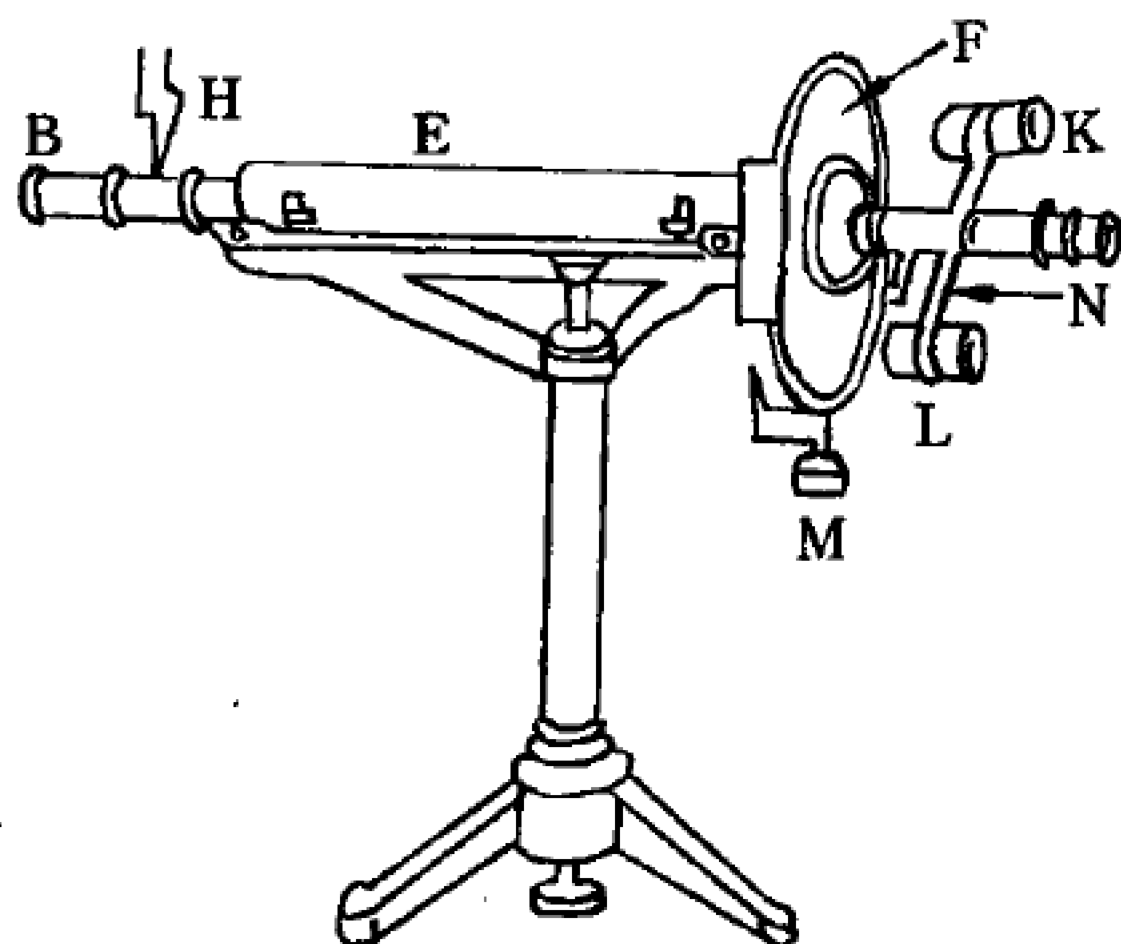


圖 11 — 5

析鏡（*analyzer*）之旋轉角度隨物質、液層（光程）之厚度、光之波長及溫度而異。設旋轉角度爲 α，液層之厚度爲 10 *cm*，密度爲 100 *mg*／*ml*，則

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{l\ d}$$

$[\alpha]_D^t$ 爲 t °C 液體對於鈉之 *D* 線所示之比旋光度（*specific rotation*）。於溶液中，若 *c* 表溶液 1 *ml* 中所含旋光性物質之克數，則

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{l\,c}$$

一般溶液之比旋光度因濃度、溫度及溶劑之種類而改變。又這些變化亦因具有旋光性物質之種類而異。如物質為蔗糖時，則其因濃度或溫度而起之變化較小。

【偏振顯微鏡】(Polarized microscope)

偏振顯微鏡是一種專用來在交偏振光下觀察物體的顯微鏡，而有各種型式。凡是所有的這類顯微鏡都具有如圖11－6 所示類似的主要構造：

目鏡及物鏡是用來放大物體的影像。有一對相交叉的毛髮固定在目鏡上，作為觀察的參考之用。它們的方向可以利用轉動目鏡來改變。但是，平常最方便的多是使其方向平行於起偏鏡與檢偏鏡的偏振方向。在大多數的這類顯微鏡中，多附設了一個刻痕和扣針的裝置，這種裝置可以保證這對交叉的毛髮之正確方向。

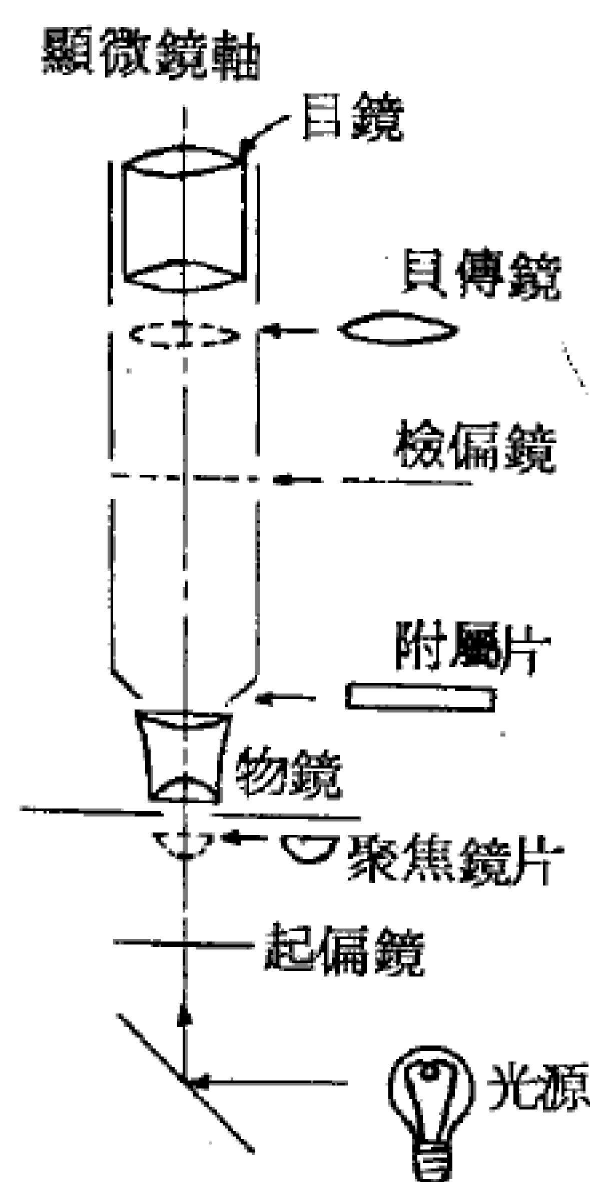


圖11－6

放置物體的載物片臺有一個小孔，這小孔可以使觀察者藉著透過來的光來觀察物體，載物片臺可以繞著顯微鏡的軸在它自己的平面上轉動，因此，在被檢視的晶體中光的振動方向與起偏鏡及檢偏鏡的偏振方向所成的角度，可以藉著載物片臺的轉動，調整到任何角度。

起偏鏡安置在載物片臺的下方。一般多習慣使其偏振方向調整在顯微鏡的南北平面上(觀察者的前方視為北方，同時這平面包含了顯微鏡的軸)。然而，大多數的偏振顯微鏡都可以任意調整其偏振方向。

檢偏鏡安置在顯微鏡的鏡筒中的滑動臺架上，通常在鏡筒的中心點稍上方；滑動臺架可以使檢偏鏡任意地插入或移出鏡筒。一些偏振顯微

鏡的設計，甚至可以使檢偏鏡繞著顯微鏡的軸在它自己的平面上轉動，因此，檢偏鏡的偏振方向可以和載物片臺下的起偏鏡的偏振方向成相交，或不相交的關係。

爲了觀察干涉圖案，我們需要聚焦光線（*convergent light*）。因此，我們加上一個補助用的聚光鏡片，我們可以藉著轉動，使這鏡片正好位於晶體的下方（參考圖 11—6）。同時，一個具有高度放大作用的物鏡安置在載物片臺的上方。假如我們將目鏡插入鏡筒，欲觀察干涉現象時，我們必須同時將貝傳鏡片插入（參考圖 11—6）。貝傳鏡片也跟檢偏鏡一樣，附在一個可以滑動的臺架上，可以任意地滑入或移出鏡筒。如果不用貝傳鏡片，同時將目鏡拿掉，依然可以觀察到干涉圖案，然而這種方法不太容易觀察，同時圖案也顯得較小，且刺眼。

許久以來，這類顯微鏡所採用的偏振單元（如起偏鏡和檢偏鏡）多是尼可耳稜鏡（*Nicol prism*）。目前，則有採用較好的偏振片以製此類顯微鏡。

【偏蝕】（Partial eclipses）

詳閱"日蝕（*Solar eclipses*）"條。

【偏壓】（Bias）

在柵極上加上一固定之負電壓，稱爲偏壓，其作用在於選擇工作點。

【偏壓電池】（Bias cell）

由小型1.5伏特的電池組成者稱之。

【偏壓電阻】（Biasing resistor）

指陰極電阻所產生之電壓是供應柵、陰兩極用，故該電阻又名偏壓電阻。

【停放軌道】（Parking orbit）

爲一個低空圓軌道，太空船在射入月球或其他星球前，先在此作各

種準備。

【停留時間】(Residence time)

核爆炸後，放射材料停留在大氣的時間。通常用半值時間表示之，因為所有的物質離開大氣的時間並不確知。

【健康物理學】(Health physics)

使用適當之保護和醫療上處置以預防輻射傷害之科學及技術。

【健康物理學家】(Health physicist)

曾受放射物理學如防護人體避免遭受輻射傷害特殊訓練之專家。

【假力】(Pseudo force ; Fictitious force)

假力即慣性力(*inertial force*)，因為慣性力並不代表物體間之交互作用，故稱之為假力。

在轉動的旋轉木馬機緊接凸出外緣內放一彈珠，旋轉木馬機上的觀察者係在非慣性系內。當彼屈膝觀察時，看到彈珠不動；若將彈珠向中心拉離邊緣少許，將看到彈珠又移動回去，好似受一沿徑向外之力的影響。他將聲言此彈珠受一向外力(離心力)及邊緣沿徑向內作用之力而呈平衡狀態。此時之離心力，我們稱之為虛設力。此力與環境內之任何物體不相關聯。

假力可以藉一個有趣的實驗(如圖 11—7)來說明：我們把一瓶水沿著桌子以加速度推它，當然重力使水向下，但由於水平方向的加速度而產生了一個水平而與力相反方向的假力，重力與假力的合力與垂直方向成一個角度，而水面必須與合力方向成直角，故與桌面傾斜一個角度，此時瓶後方的水較高些。當停止推瓶子時，由於摩擦力使得此瓶減速下來，此時假力方向相反，故瓶前方的水變得高些。



圖11—7、一個假力的說明

假力的一個很重要的現象，是它與質量成正比。重力也是如此，因

此重力也可能是一種假力。對於一個正比於質量的力，我們可以設這些物體正受著加速度。例如把一個人關在一個箱子裏，此箱子對地球是靜止的，他會發現他被一個力拉向此箱子的地板上，而此力正比於其質量。他可以與另一人所受的力比較而看出來。如果地球不存在，且此箱靜止不動時，則裏面的人會飄在空中。但如果沒有地球，而有一東西以一加速度 g 推此箱子，於是箱子裏的人研究物理時，便會發現有一個假力把物體拉向地板與重力完全一樣。

愛因斯坦提出了這個有名的假說：加速度會造成重力。即加速度所生之力（假力），與重力絲毫不能被區分出來。所以如果現在有一個力，我們不可能說其中多少是由於重力，多少是由於假力。

【假地廻路】（ Ground-return circuit ）

藉機殼或地代替了一根導線，使電流回到應到的地方。

【假純量粒子】（ Pseudoscalar particle ）

能以假純量場來描述的粒子，如派子。

【假琥珀】（ Ambroin ）

一種固體石膏材料，係用化石樹脂（ *fossil copal resins* ）及矽酸鹽（ *silicates* ）混合而成，為最優良的絕緣物，且可造成各種模型。

【假琥珀膠】（ Ambroin cement ）

化石樹脂溶在醋酸戊烷而成的一種膠溶液，但現在用各種樹脂而製成。

【假說】（ Hypothesis ）

根據以往的知識，對這個宇宙之結構的某一部分作一個模型（ *model* ），即產生了種種的假說。假說在形成的時候，已經和以前的知識不相衝突。可是它以後還得不斷地受新的觀察與實驗的考察。這種模型，就是物理的理論，有的時候，我們可以很直接地從理論導出來一些未

知的結果，以待實驗的印證。但有時，由於實際情形太繁，完全的推論成爲不可能；或有時受數學工具的限制，例如非線型的問題，則我們就應藉助於近似法（*approximation method*）以求證之。

【假體】（Phantom）

一種極近似於生物組織之密度及有效原子序數的材料，用在有關於輻射的生物試驗。

【偶奇核】（Even-odd nucleus）

含偶數中子奇數質子或含偶數質子奇數中子的核。

【偶偶核】（Even-even nucleus）

含偶數中子偶數質子的核。

【偶然球型陀螺】（Accidentally spherical tops）

轉動剛體的三主軸若因對稱關係而致有相同之慣性矩時，稱爲球形陀螺。但在偶然情形中，三主軸間並無對稱關係而其三慣性矩竟然相等，此時其轉動情形與球型陀螺相同，稱爲偶然球型陀螺。

【偶然簡併性】（Accidental degeneracy）

電子只受庫倫電場作用，沒有相對論的效應時，其狀態爲主量子數 n 相同，但軌量子數 l 不同（例如氫原子的 $2s$ 及 $2p$ 能階），這稱爲偶然簡併性。又如多原子的分子中，兩振動能階能量極近相同，但各屬不同的振動模式，也是偶然簡併性。

【偶極】（Dipole）

在無線電技術中，是把一種特殊類型的振子叫做偶極。偶極由兩個相同的導體組成，而排在一條直線上，並對稱地連接到發射機或接收機去。因此，偶極兩半部分內的電流在每個時刻都具有相同的方向，而其末端的電荷卻具有相反的符號。這就是把振子叫做偶極的原因。偶極的全部長度通常等於接收波長的一半（所謂半波偶極），或者等於波長，而在某些場合裏，也可以等於更多個半波長。偶極是最簡單的發射和接

收超短波與分米波的天線。用於這些波的比較複雜的天線，是一個偶極系統或是帶有拋物面反射器的偶極。短波天線也常常是由兩個相同的導體系統所構成，各導體也是對稱地與發射機連接在一起。這種用於短波的天線也被稱為偶極。

【偶極輻射器】(Dipole radiator)

偶極輻射器如圖 11—8 所示，是用兩小段導線，連在一個振盪器(或稱為發生器)上構成的。振盪器所產生的電位差或電場，把 *A* 段裏的電子推進 *B* 段內；但經過極短的瞬間之後，整個過程就完全反轉過來了，在 *B* 段裏的電子又被推回 *A* 段內。結果是 *A*、*B* 兩段導線的作用好像是一整條導線，其中的電子被上下來回地推動著。換句話說，在此導線(一般稱為天線 *antenna*)內有一交變的電流產生。電磁輻射的發生就是從這個交變電流得來的。

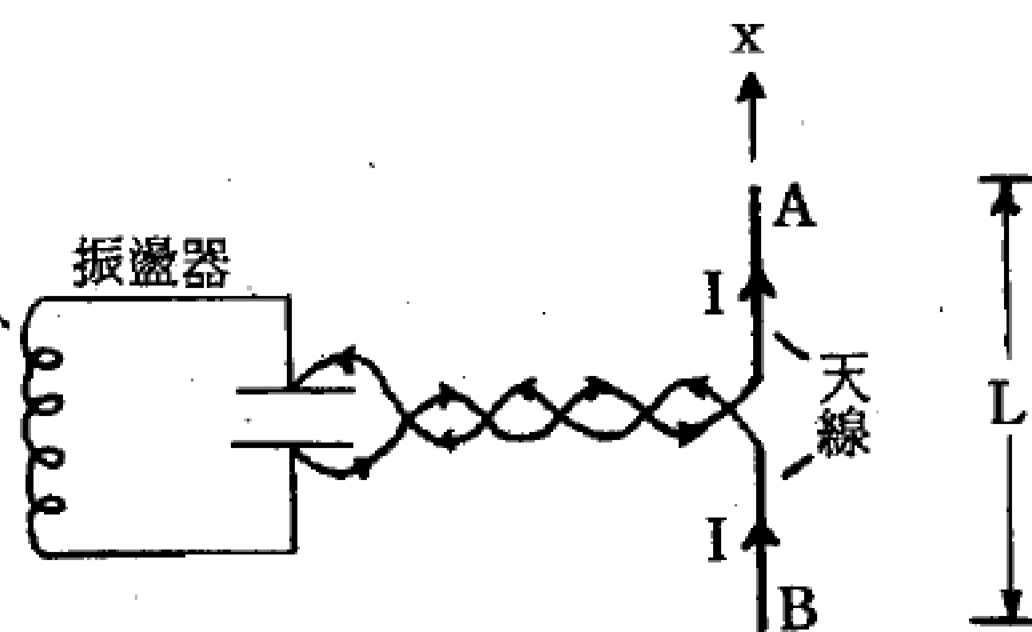


圖 11—8　偶極輻射器

假設天線的長度與橫截面分別為 *L* 和 *A*，參與導電作用的電子(即所謂自由電子)的體積密度為 *n*，一電子的電荷為 q_1，而電子的平均漂流速度(*drift velocity*)為 $\dot{x}$；則上述的電流與此漂流速度有如下的關係

$$IL = (nq_1 A\dot{x})\,L = Nq_1\dot{x}$$
$$= q\,\dot{x}$$

其中 $N = nAL$ 是天線內自由電子的總數，$q = Nq_1$ 是參與振盪的總電荷。這個總電荷 *q* 雖然不是一個點電荷，而是分佈在整個天線內的；但是如果 $L \ll \lambda$ (λ 代表輻射出去的波的波長，這個條件表示各電子的振盪可以被視為同相位)，觀測點又離天線很遠，則它所發出的輻射與一個點電荷 *q* 的輻射是沒有區別的。一般來說這個電荷(或上述的電流)是簡諧性地在變動著，因此它的輻射場亦可以上式來描述。

這種偶極輻射器，也可以拿來作接收器用。因爲如果有一電磁波射進天線的範圍，則它的電場就可以驅使天線內的電子作上下往復的運動。所產生的微小電流經放大後，就可以成爲我們覺察得到的訊號了。

【偶數諧波】（Even harmonic）

基本波的偶數副波，對正弦波的影響常令基本波變爲鋸齒波，此爲偶數波共有的特性。

【剪力】（Shear）

即切力。

詳閱"切力（*Shear*）"條。

【剪切波】（Shear wave）

若波橫向變形沿棒之傳播速度爲

$$v=\sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

時之波，稱爲剪切波。

【剪波級】（Clipper stage）

示波器中剪去電波正負向峯值的一級。

【剪應力】（Shearing stress）

即切應力。

參閱"切應力（*Shearing stress*）"條。

【剪應變】（Shear strain）

詳閱"切應變（*Shear strain*）"條。

【副日點】（Subsolar point）

以圓底盒支持一根管子如圖 11－9，使管子指向地球儀的中心然後沿著地球儀的表面移動管子，一直到管子的影消失爲止，於是陽光通過管子射到地球儀上，形成一個小圓圈，此小圓圈稱爲副日點。居住在副日點的人站直的時候，發現他的影子直落在自己的脚上，副日點地區

的太陽是從頭頂直射下來的。副日點地區一定是正午，副日點以西尚未到中午，以東則是下午了。只要算出從副日點到你所居住的城鎮差多少經度，將此經度除以 15 度，就可以得到你所居住的城鎮現在是上午幾點鐘，或者是下午幾點鐘。

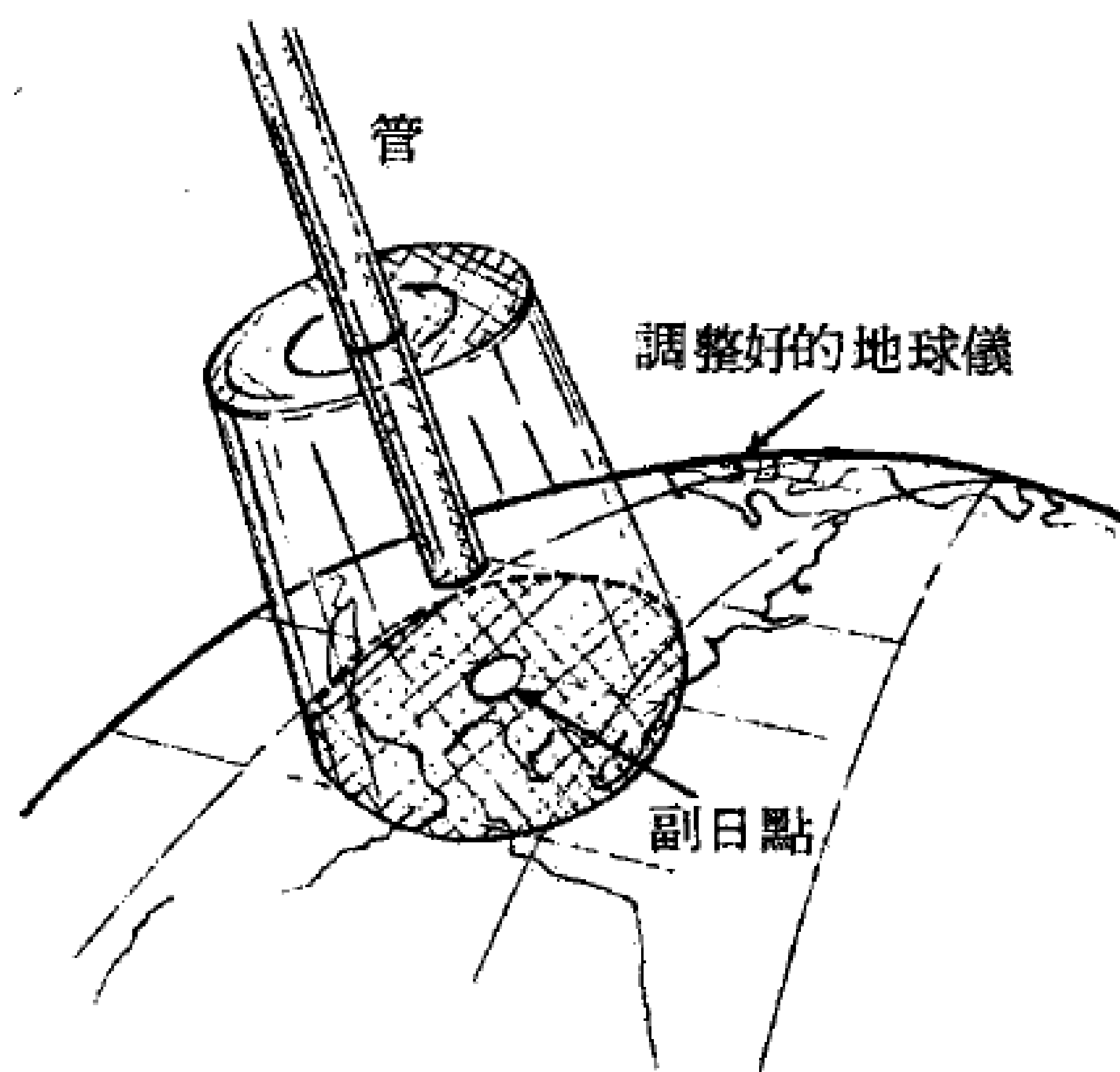


圖11－9
測副日點的工具，是由管與盒或所構成，管垂直於盒底，可以保證通過管內的太陽光直射地心。

【副波天線】(Harmonic antenna)

凡沿天線上有電流電壓整數駐波的，此天線即可諧振，凡天線長度大於半波長的，均稱副波天線。

【副產物料】(By-product material)

除了源料或可裂材料(*fissionable material*)以外，任何在生產或使用源料或可裂材料過程中所得到的放射性材料都稱爲副產物料。它包括分裂產物及其他許多在核反應器內所產生的放射性同位素。

【副軸】(Secondary axis)

球面鏡及透鏡之副軸如下：

(1)球面鏡之副軸——發光點在主軸外時，則其像生於發光點與主焦點之連結線上，此線謂之球面鏡之副軸。

(2)透鏡之副軸——發光點在主軸外時，則其像生於發光點與光心之連結線上，此線謂之透鏡之副軸。

【副電流】(Secondary current)

在副線圈內之電流名爲副電流，或稱應電流(*induced current*)。

參閱“原電流(*Primary current*)”條。

【副線圈】(Secondary coil)

感應發電圈外部之線圈，謂之副線圈。為用極細之絕緣導線捲成者，大感應發電圈之副線圈，其導線之長約二、三十里。

參閱“感應圈(*Induction coil*)”條。

【副衛星點】(Subsatellite point)

直接在衛星之下移過地球表面上之點，稱副衛星點。

【勒克司】(Lux)

勒克司是照度(*intensity of illumination*)的單位。一勒克司卽一米燭光(*meter-candle*)或流明／米^2。

1 勒克司= 0.1 毫輻透(*milliphot*)

= 0.0929 呎燭光。

【勒克朗社電池】(Leclanche cell)

勒克朗社電池是以碳為正極，鋅為負極(圖11—10)。以NH_4Cl作電解液，另以MnO_2及碳粉置於生瓷杯中用作祛極劑。約可產生1.5伏特之電壓，其僅可供短暫用(如電鈴)，此因MnO_2不能立刻與$2H$化合，致電壓逐降(斷路後卽可恢復)。乾電池卽由此種電池改製而成，其構造見圖11—11。

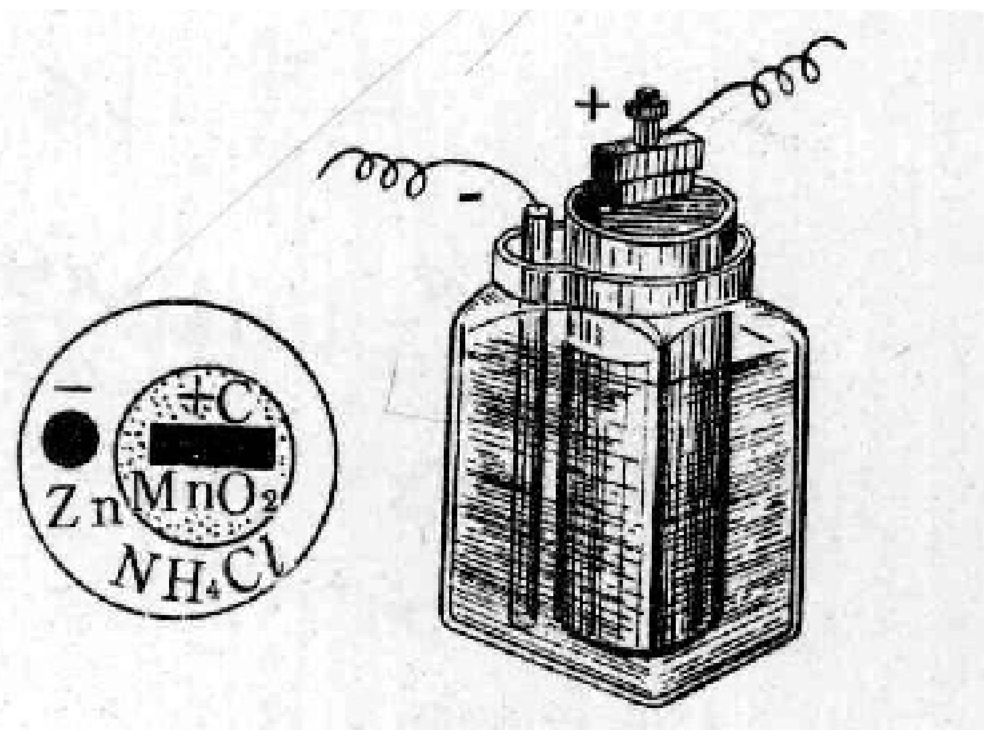


圖11—10

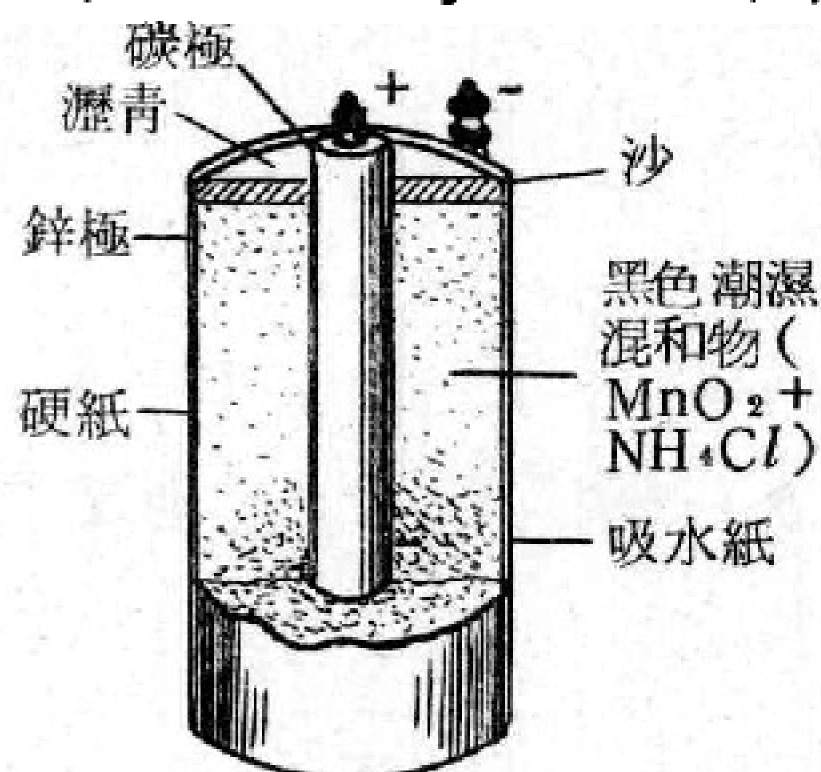


圖11—11

【勒沙特列原理】(Le Chatelier principle)

謂對一平衡系加一外力，則此平衡系會朝著抵抗此外力的反向移動。

【勒諾定律】(Regnault's law)

詳閱“路尼歐定律 (*Regnault's law*) ”條。

【勒壤得方程式】(Legendre equation)

即二級微分方程

$$(1-x^2)y''-2xy'+n(n+1)y=0$$

【勒壤得多項式】(Legendre polynomials)

在解電磁學中球對稱的電位問題，或波動力學中球對稱的位能問題，可將函數分成角部分與徑向部分，角部分的解，即爲球諧函數 $Y_{lm}(\theta,\phi)$。可再將其分成 θ 及 ϕ 的函數，即

$$Y_{lm}(\theta,\phi)=\Theta(\theta)\Phi(\phi)$$

式中 $\Theta(\theta)$，$\Phi(\phi)$ 適合下列兩方程式：

$$\frac{d^2\Phi}{d\phi^2}+\nu\Phi=0$$

$$\frac{1}{\sin\theta}\frac{d}{d\theta}\left(\sin\theta\frac{d\Theta}{d\theta}\right)+\left(\lambda-\frac{\nu}{\sin^2\theta}\right)\Theta=0$$

上式中 ν 及 λ 爲

$$\nu=m^2 \qquad \lambda=l(l+1)$$

m，l 均爲整數，且

$$m=-l,\ -l+1,\ -l+2,\ \cdots,\ 0,\ \cdots l-2,\ l-1,\ l$$

在第二式中，以 $\omega=\cos\theta$ 代之，並令 $\Theta(\theta)=P_l^m(\omega)$，則第二式變爲

$$\frac{d}{d\omega}\left[(1-\omega^2)\frac{dP_l^m(\omega)}{d\omega}\right]+\left[l(l+1)-\frac{m^2}{1-\omega^2}\right]P_l^m(\omega)=0$$

此方程式的解稱爲伴勒壤得多項式。在特殊情形 $m=0$ 時，$P_l^0(\omega)=P_l(\omega)$ 稱爲勒壤得多項式，而勒壤得方程式爲

$$\frac{d}{d\omega}\left[(1-\omega^2)\frac{dP_l(\omega)}{d\omega}\right]+l(l+1)P_l(\omega)=0$$

此方程式的解可由母函數求得。母函數$G(x,t)$的形式為

$$G(x,t)=(1-2xt+t^2)^{-\frac{1}{2}}$$
$$=\sum_{l=0}^{\infty}t^lP_l(x)$$

勒壤得多項式適合下列遞推公式：

$$(2l+1)xP_l(x)=lP_{l-1}(x)+(l+1)P_{l+1}(x)$$
$$P_l(x)=P'_{l+1}(x)-2xP'_l(x)+P'_{l-1}(x) \qquad (l\geq 1)$$

伴勒壤得多項式可由勒壤得多項式求得，其公式為

$$P_l^m(\omega)=(1-\omega^2)^{\frac{|m|}{2}}\frac{d^{|m|}}{d\omega^{|m|}}P_l(\omega)$$

在勒壤得多項式中常用下列諸式：

$$P_l(\omega)=\frac{1}{2^l l!}\frac{d^l}{d\omega^l}(\omega^2-1)^l$$
$$P_l(1)=1 \qquad P_l(-1)=(-1)^l$$
$$P_0(\omega)=1 \qquad P_1(\omega)=\omega$$
$$P_2(\omega)=\frac{1}{2}(3\omega^2-1)$$
$$P_3(\omega)=\frac{1}{2}(5\omega^3-3\omega)$$
$$P_4(\omega)=\frac{1}{8}(35\omega^4-30\omega^2+3)$$

【動力】(Power)

動力的物理意義是每單位時間的能量，這裏所謂能量是各種形式的能量，當然應該包括熱能在內。但是"動力"這一個名詞普通的意義卻局限於電力和引擎動力(即每秒的機械功)，如此一來就不能包括熱能了，譬如一具火爐每小時發熱1.7×10^4 B.T.U. 通常並不說它的"動力"等於5仟瓦，這種說法限於以電力產生熱能的電爐才可以使用。

【動力反應器】(Power reactor)

利用核能設計的反應器，以別於專為生產輻射或可裂材料或作研究用的反應器。此反應器係利用核心所產生的熱能藉熱交換器(*heat exchanger*)的作用，將冷水轉變為蒸汽，以產生動力，供作推動機器和發電機等用。此反應器主要是利用核心之熱能，故其核心必須有很高的溫度。其溫度愈高，效率愈大。

原子潛艇和原子發電廠所用的反應器均屬動力反應器。動力反應器的型式很多。常用的有壓水式反應器(*pressurized water reactor*)、沸水式反應器(*boiling water reactor*)、氣體冷卻石墨緩和反應器(*gas cooled graphite moderation reactor*)及鈉冷卻石墨緩和反應器(*sodium cooled graphite moderation reactor*)等。

【動力平衡】(Kinetic equilibrium)

為"等速直線運動"或"繞定軸"以等角速轉動狀態的物體，受諸力作用時之平衡情況(如等速直駛之火車與規律運行之星球均屬之)。

【動力式傳聲器】(Dynamic microphone)

聲波使振動板振動時，因繞在振動板的線圈在磁鐵的磁場中振動，便可以得到隨聲波而變化的應電流。動力式傳聲器的靈敏度佳，構造堅固，雜音少，音質也不錯。其構造如圖 11 — 12 所示。

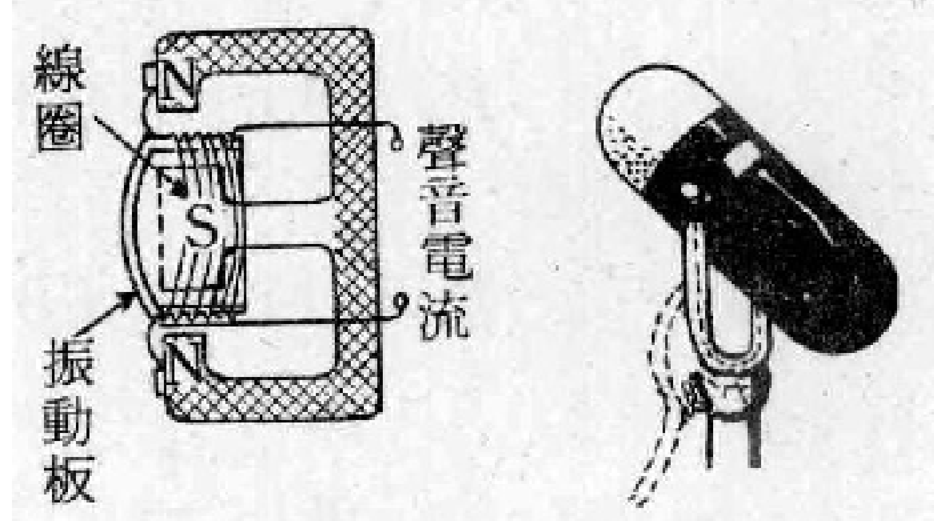


圖 11 — 12　動力式傳聲器

【動力式揚聲器】(Dynamic loudspeaker)

如圖 11 — 13所示，在E字形強力永久磁鐵(也有用電磁鐵的)中間腳的端子套一個線圈。此一線圈不與磁鐵接觸且可自由振動，並把這種振動傳給振動板。

當有聲音電流(強度能隨聲波的波形而變化的電流)通過線圈時，線圈也有磁鐵的作用，而引起線圈所造成的磁鐵與永久磁鐵(或電磁鐵

）互相影響。於是，線圈與磁鐵之間的磁力就隨電流的強弱發生變化，使線圈振動。

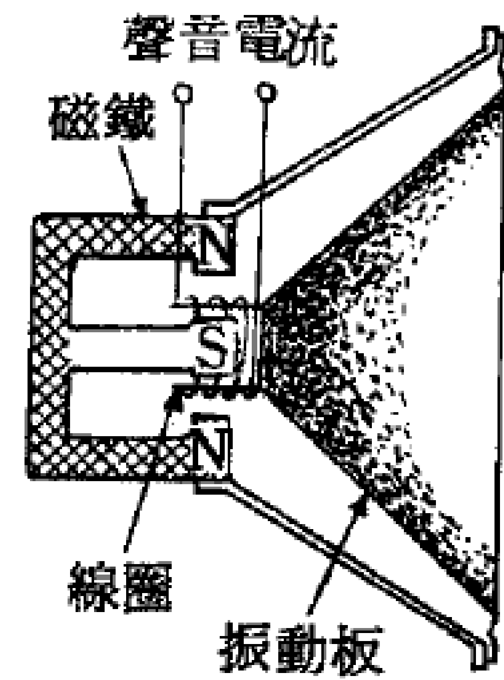


圖11－13
動力式揚聲器

【動力供應器】（ Power supplier ）

動力供應器之目的是供給電能，促使中性氣體（ *neutral gas* ）變成電漿（ *plasma* ）。亦即電離氣體。如此可導致電漿產生器的二個電極之間獲得一直流弧光。爲此目的所設計的動力供應器可歸類成三個主要的形式：整流器、轉動的變流器和電池。通常，弧光使用低電壓和高電流。

電池雖可用來當作動力供應器，但其具有下列缺點：對操作時間上的限制，需要一種重新的光電系統，以及在輸出線上的附加設備以保證弧光的穩定性等。

標準的整流器式焊接器及電動機焊接機械（ *motor generator welding machine* ）可用做動力的泉源。不過，整流器能平穩的操作，它的輸出比電動機焊接器較爲穩定。而電動機焊接器在單位仟瓦（ *KW* ）上的消耗比整流器式便宜，而且還可供給高度的間斷性的動力輸出。

其他形式的動力供應器是利用一個交流（ *A.C.* ）弧光在電漿產生器裏。選擇*A.C.*弧光的電極材料其限制比直流還要大。

【動力脫羈】（ Excursion ）

當反應器到達超臨界狀態時，功率階突然會很快地增高，此種現象稱爲動力脫羈。動力脫羈通常很快就會被反應器的負溫度係數及（或）自動控制棒壓制下去。

【動力對稱性】（ Dynamical symmetry ）

動力對稱性相對於幾何對稱性。幾何對稱性是由於空間的均勻性及各向同性等幾何形狀的對稱，例如平移對稱、轉動對稱等。動力對稱則起源於動力學的原因，結果顯示的對稱性性質，表示特殊的作用力，如

氫原子的位能形式為１ ／r 以及各向同性振子等。正如幾何對稱性會生能量的簡併狀態，動力對稱性也會有能量的簡併狀態，這在量子力學中有很多例子。

氫原子能階E_n有n^2 個簡併狀態，這可由波動方程式的解ψ_{nlm} 得知，其中l 及m的簡併現象是由幾何對稱性的轉動對稱，聯心力所生；而n的簡併狀態則是由於庫倫力$V=-K/r$ 的特別現象，稱為偶然簡併。在這種刻卜勒問題中，漢彌頓算符是

$$H=\frac{P^2}{2\mu}-\frac{K}{r}$$

其橢圓軌跡在一平面，且角動量$\overrightarrow{L}$為常數。除了$\overrightarrow{L}$是常數外，我們仍可以找到另一運動常數$\overrightarrow{M}$，稱為楞次向量（ *Lenz vector* ）在橢圓的長軸方向，它的形式可以寫成

$$\overrightarrow{M}=\frac{1}{2\mu}(\overrightarrow{P}\times\overrightarrow{L}-\overrightarrow{L}\times\overrightarrow{P})-\frac{K}{r}\overrightarrow{r}$$

的算符形式。$\overrightarrow{M}$是常數的性質，用量子力學的語言表示，它與H是可對易者，即

$$[\overrightarrow{M},H]=0$$
$$[\overrightarrow{M}^2,H]=0$$

此式可由H及$\overrightarrow{M}$的算符形式直接計算。

若令
$$\overrightarrow{I}=\frac{1}{2}\left(\overrightarrow{L}+\sqrt{\frac{-\mu}{2E}}\,\overrightarrow{M}\right)$$
$$\overrightarrow{k}=\frac{1}{2}\left(\overrightarrow{L}-\sqrt{\frac{-\mu}{2E}}\,\overrightarrow{M}\right)$$

則$\overrightarrow{I}$，$\overrightarrow{k}$的性質，與角動量一樣，故對稱性因而擴大。由$\overrightarrow{I}$與$\overrightarrow{k}$所構成的對稱性是四維轉動$SU(4)$對稱，氫原子的能階亦可由此表示

$$E_n=-\frac{\mu K^2}{2\hbar^2(2k+1)^2}$$

k 爲 $\vec{k}$ 的量子數，且 $2k+1=n$ ，所以 E_n 就是熟知的氫原子的能階。

【動力論】(Kinetic theory)

動力論是處理分子的內在和外在運動，分子間以及分子與器壁間的碰撞，及分子間交互作用的力。動力論利用力學定律和機率理論，討論關於分子運動及分子碰撞的詳情，而能處理下列非平衡狀況：

1. 分子由容器上的小孔逸出，即所謂瀉流(*effusion*)過程。

2. 在壓力差的作用下，分子流過管道，即片流(*laminar flow*)運動。

3. 具有動量的分子越過某個平面，而與動量較低的分子混合的現象，這是與黏滯性有關的一種分子過程。

4. 具有動能的分子越過某平面，而與能量較低的分子混合，是與熱傳導有關的過程。

5. 一種分子通過某平面，而與他種分子混合，即擴散(*diffusion*)過程。

6. 兩種或兩種以上的分子間，以一定變化率進行的化學結合，稱爲化學動力學(*Chemical kinetics*)。

7. 流體中懸浮的極小物體各方向所受的分子衝擊不均等時，衝力的差使懸浮物體進行任意形狀曲折路徑的運動，這就是布朗運動(*Brownian movement*)。

【動力摩擦】(Dynamical friction)

電子與離子互相作漂移時的拖曳力。在完全離子化的離子體中，電子與離子間的碰撞是小角度的庫倫碰撞，因此產生了與速度有關的拖曳力，稱爲動力摩擦。

【動力學】(Dynamics)

詳閱“動力學方程式、動力態和力學變數(*Dynamical equa-*

tion , Dynamical state and Dynamical variable ）"條。

【動力學、運動學與靜力學】（ Dynamics, Kinematics and Statics ）

運動學之英文 *kinematics* ，是由希臘字 *kinema* 而來，意指"運動"，運動學的研究限於對各種運動形態的描述，而不涉及運動的本質或使運動發生的原因。動力學之英文 *dynamics* 一詞，起於希臘字 *dynamis*，意指"力量"。動力學中，需討論引起運動的原因、運動的本質及影響運動的各種因素。在運動學中只要求測定位置及時間等；動力學中則需計及造成、阻止及決定運動的推力及拉力。靜力學則只考慮沒有運動狀況下的受力情形。

【動力學方程式、動力態和力學變數】（ Dynamical equation , Dynamical state and Dynamical variable ）

動力學爲力學的一部分，其目的在預測物理現象發展的結果。如在 t_0 時，一物理系統的某一觀測量爲已知，我們可以藉動力方程式計算出該可觀測量在另一時間 t 的觀測值。因此動力方程式所描述的是物理世界的變化動態。

在動力學方程式內的變數，稱爲力學變數。例如位置、動量、能量等等。在量子力學中，假設"每一個力學變數都可對應地以一線性算符表示"，例如 $\vec{r}$ 可表示位置，$-i\hbar\nabla$ 可表示動量算符。而每一算符 Ω 均可構成一本徵方程式

$$\Omega v_\mu = \omega_\mu v_\mu \qquad (\mu = 1, 2, 3, \cdots)$$

ω_μ 爲對應的本徵值，v_μ 爲其本徵函數。以此推論，任何物理量可視爲一線性算符，而可測量的物理力學變數爲測量其對應的 ω_μ，因此在物理動力狀態 v_μ 下所能測得的力學變數 ω_μ 必須是實數。此性質規定 Ω 算符的數學性質，即它必須是厄米特算符。

所有的本徵函數 $\{v_\mu\}$ 構成完全的集合，而任何物理系統以 ψ（

$\vec{r}$，t）表示，均可以寫成 v_μ 的線性組合。也就是說，假定 $\psi(\vec{r},t)$ 表示一物理系統的波函數，則 $\psi(\vec{r},t)$ 可寫成爲

$$\psi(\vec{r},t)=\sum_\mu a_\mu(t)v_\mu(\vec{r})$$

式中 $a_\mu(t)$ 爲時間函數的係數。對此物理系統的量度應該是“量度力學變數Ω的結果，必定是許多本徵值 ω_μ 中的一個”，而且“對Ω量度時，得到其中本徵值 ω_μ 的機率，與 $|a_\mu|^2$ 成正比”。由此，我們可以對於每一力學變數，得到其量度時的機率分佈情形，此機率可由上式 $\psi(\vec{r},t)$ 的擴展係數求得。因此稱 $\psi(\vec{r},t)$ 爲一種動力狀況。在特殊情形下，如：

$$\psi(\vec{r},t)=v_\mu(\vec{r})$$

則對力學變數Ω量度的結果，一定是本徵值 ω_μ，此時稱 $\psi(\vec{r},t)$ 爲一本徵狀態。

再考究一物理系統隨時間 t 變化的情形。這種變化可由幾個不同的觀點討論。第一種是薛丁格的觀點，從薛丁格波動方程式出發，其波函數隨時間變化的情形爲

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(\vec{r},t)=H\psi(\vec{r},t)$$

$$\psi(\vec{r},t)=e^{-iHt/\hbar}\psi(\vec{r},0)$$

因此物理動力狀態函數隨時間而變化，而力學變數則爲不隨時間變化的常數。第二種是海森堡的觀點，令

$$\psi_H(\vec{r},0)=e^{iHt/\hbar}\psi_S(\vec{r},t)$$

$$\Omega_H=e^{iHt/\hbar}\Omega_S e^{-iHt/\hbar}$$

有下誌 S 者爲薛丁格觀點，下誌 H 者爲海森堡觀點，以此推論，得 Ω_H 的時間變化爲

$$\frac{d\Omega_H}{dt}=\frac{\partial\Omega_H}{\partial t}+\frac{1}{i\hbar}[\Omega_H,H]$$

由此 Ω_H 算符的變化情形，可知力學變數的時間變化。這與薛丁格觀點恰巧相反。

【動力學原理】(Principle of dynamics)

隨著力學的發展，運動定律依照其目的被敍述成各種形式。這些形式統稱爲動力學原理。虛功原理、達朗白(*D' Alembert*)原理、拉格朗(*Lagrange*)運動方程式、漢彌頓(*Hamilton*)運動方程式、最少約束原理、最直軌道原理、漢彌頓正則運動方程式、漢彌頓、亞可比偏微分方程式等均屬於動力學原理。

【動子】(Rotor)

發電機或電動機的轉動部分。

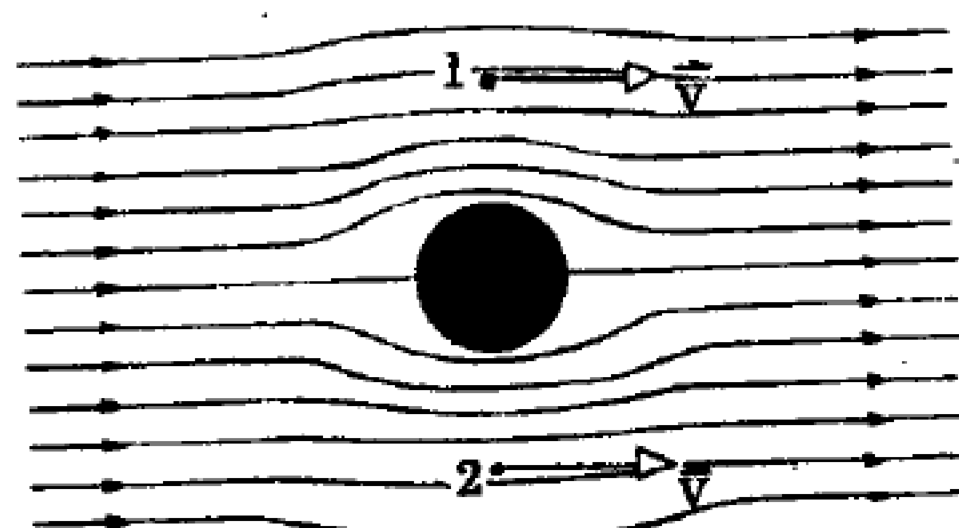
【動片】(Rotor plate)

可變電容器之動片組。

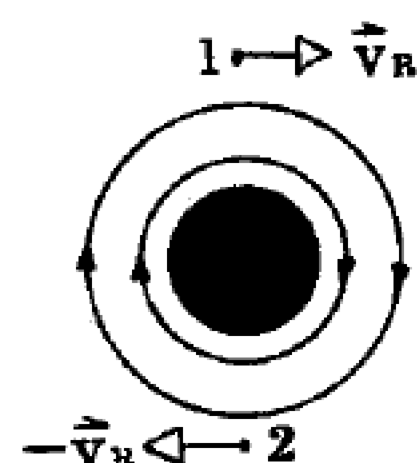
【動升力與靜升力】(Dynamic lift and static lift)

動升力是作用於物體之力，因物體在流體中之運動而來，如飛機機翼、水翼或旋轉之棒球運動時之力。靜升力則是依照阿基米得(*Archimedes*)原理作用於物體之浮力，如氣球等。

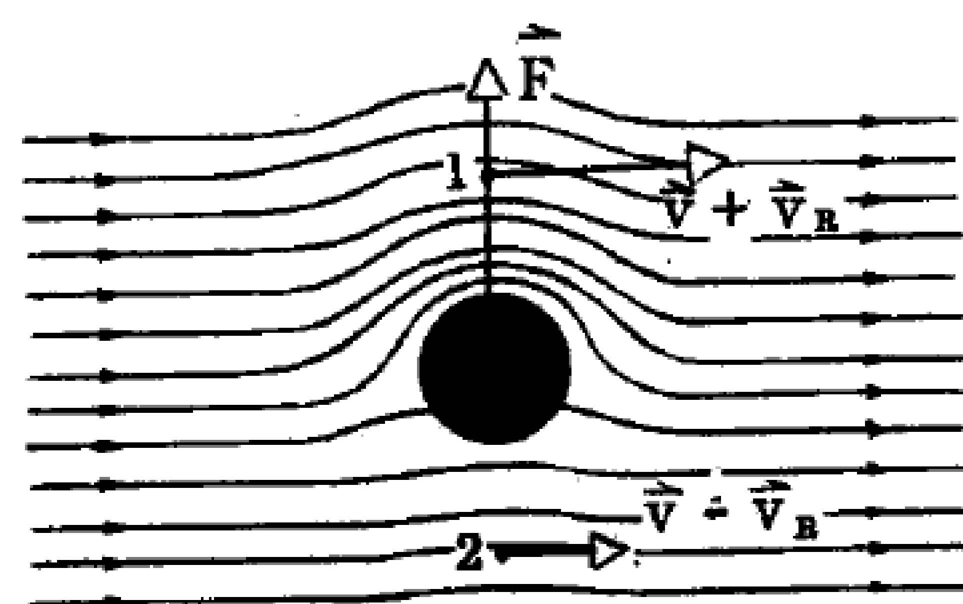
圖 11—14 (*a*) 所示爲一在空氣中運動之(不旋轉)球及其附近之流線(*stream line*)。爲方便計，設觀察之參考系乃以球爲靜止而空氣在運動者；可認爲此參考系實係置於風洞中之球上。由流線之對稱，在球



(a)空氣流過(不旋轉)球之流線。圖示 1 和 2 兩點之速度 $\vec{v}$



(b)繞旋轉球之氣流之流線，在 1 和 2 兩點之速度各爲 $\vec{v}_R$ 和 $-\vec{v}_R$



(c) (a)和(b)之重合。1 和 2 兩點之速度及動升力 $\vec{F}$ 均示於圖

圖 11—14

之上下相對應之點空氣之速度顯然相同，如圖(*a*)之 1 和 2。則自白努利（*Bernoulli*）方程式推知諸對應點之壓力相等，且空氣未施向上或向下之力於球；動升力卽爲零。

另外如 11 — 14 (*b*)所示，靜止之球繞垂直於平面之軸自旋。因球並不完全光滑，球乃拖曳諸環繞之空氣，與運動相關的流線。

若將球拋出則如圖11—14(*c*)所示結果之流線，球之質心靜止於參考系中。此等流線代表速度之分佈，由圖 11—14 (*a*) 和 (*b*) 中各點之速度相加（向量）而得。在點 1 之速度爲數值相加，而在點 2 相減。故在圖 11—14(*c*) 中點 1 之速率大於點 2 之速率，如圖示之密集流線。由白努利原理 $p+\frac{1}{2}\rho v^2=C$，則點 1 之壓力小於點 2 之壓力，故有向上之淨力（動升力）作用於自旋之球。日常所熟知者如作用於自旋棒球和網球之力。

【動浮力】（Dynamical buoyancy）

詳閱"力之分解（*Decomposition of force*）"條。

【動徑】（Radius vector）

卽向徑。

參閱"向徑（*Radius vector*）"條。

【動能】（Kinetic energy）

物體因運動而具有的能量，稱爲動能。設質點的質量爲 m，其所受的外力的合力爲 F，則對一慣性坐標而言牛頓運動定律爲

$$\vec{F}=m\vec{a}=m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

當質點由 r_A 位置移到 r_B 位置時，此合力 $\vec{F}$ 對它所作的總功爲

$$W_{A\to B}=\int_{C\,\vec{r}_A}^{\vec{r}_B}\vec{F}\cdot d\vec{r}=\int_{C\,\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} m\frac{d\vec{v}}{dt}\cdot d\vec{r}$$

$$=\int_{C\,\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} m\vec{v}\cdot d\vec{v} \qquad (1)$$

因為 $$d\frac{1}{2}\vec{v}\cdot\vec{v}=d\frac{1}{2}v^2=\vec{v}\cdot d\vec{v}$$

若質點的慣性質量與速度無關，則（1）式的積分可被化成一全微分（*total differential*）的積分，即

$$W_{A\to B}=\int_{C\,\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} m\vec{v}\cdot d\vec{v}=\int_A^B d\frac{m}{2}v^2$$

$$=\frac{m}{2}v_B^2-\frac{m}{2}v_A^2 \qquad (2)$$

v_A與v_B分別為質點在r_A位置與r_B位置時的速率。這一結果告訴我們，不論作用於質點的合力$\vec{F}$隨位置的變化情形為何，也不論質點所走之路徑為何，合力所作的功恆等於質點在終點時的$\frac{m}{2}v^2$及起點時的$\frac{m}{2}v^2$的差。因為"$\frac{m}{2}v^2$"只與質點的質量與速率有關，故我們將這一重要的數量稱為動能，以表示這是質點在運動中所具有的能量。我們常用T表示一質點的動能，即

$$T=\frac{1}{2}mv^2$$

因此，（2）式可寫成

$$W_{A\to B}=T_B-T_A=\Delta T$$

這一重要結論用文字說明時即為：合力對質點所作的功等於質點之動能的改變量。這一結論與作用力的性質無關，故任何場合都可適用。

我們在上面將動能定義為$\frac{1}{2}mv^2$時，已經用到了牛頓第二定律$\vec{F}=m\vec{a}$，同時我們也假設質點的慣性質量與速度無關。因此，如果這一假設並不成立，如果質點的運動定律並不是$\vec{F}=m\vec{a}$，則動能當不見得仍是上面所定義的$\frac{1}{2}mv^2$。當質點的速度接近光速時，牛頓運動定律應寫

成$\vec{F}=\frac{d\vec{p}}{dt}$，這時質點的線動量$\vec{p}$不再是$m\vec{v}$，而應寫$\vec{p}=m\vec{v}/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$，$m$為質點靜止時之慣性質量。因此，在特殊相對論裏，質點的動能並不定義為$\frac{1}{2}mv^2$，而是定義為$T=\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}-mc^2$，$c$為真空中之光速。不過，即使在相對論中，合力所作之功仍然等於質點的動能的改變量。

一質點的速度是對一參考坐標量度的，而所謂"絕對"速度是無意義的。因此，動能也是對一參考坐標而言方有意義，在物理學也沒有"絕對"的動能。又因為$\vec{F}=m\vec{a}$是對一慣性坐標才成立，因此，我們所說的："外力的合力對一質點所作的功等於其動能的改變量"這一句也是對一慣性坐標而言才有意義。如果是對一加速度坐標或轉動坐標而言，合力所作的功將不等於質點對此坐標之動能的改變量。

由動能之定義我們知道動能和功的單位相同；動能與功都是純量。因此，一群質點的總動能為此群中各個質點的動能的代數和。

若物體除了具有線速度以外，本身還具有繞其質量中心軸轉動的角速率ω，則

$$T=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}I\omega^2$$

I為該物體對轉軸的慣性矩。

【動圈式揚聲器】(Moving coil loudspeaker)

動體為接上聲源的線圈。

【動圈式微音器】(Moving coil microphone)

動圈式微音器又稱電動式微音器 (*dynamic microphone*)。這種微音器是仿照交流發電機原理構造的。構造的方式和鋁帶式相似，不過把鋁帶換為一個附在膜片上的小線圈，如圖11—15所示。當音波衝擊

膜片時，膜片振動，使線圈也隨著運動。由於線圈在磁場中移動，割切磁力線而產生交流電流，所以它的變化與衝擊薄膜的音波變化相同。

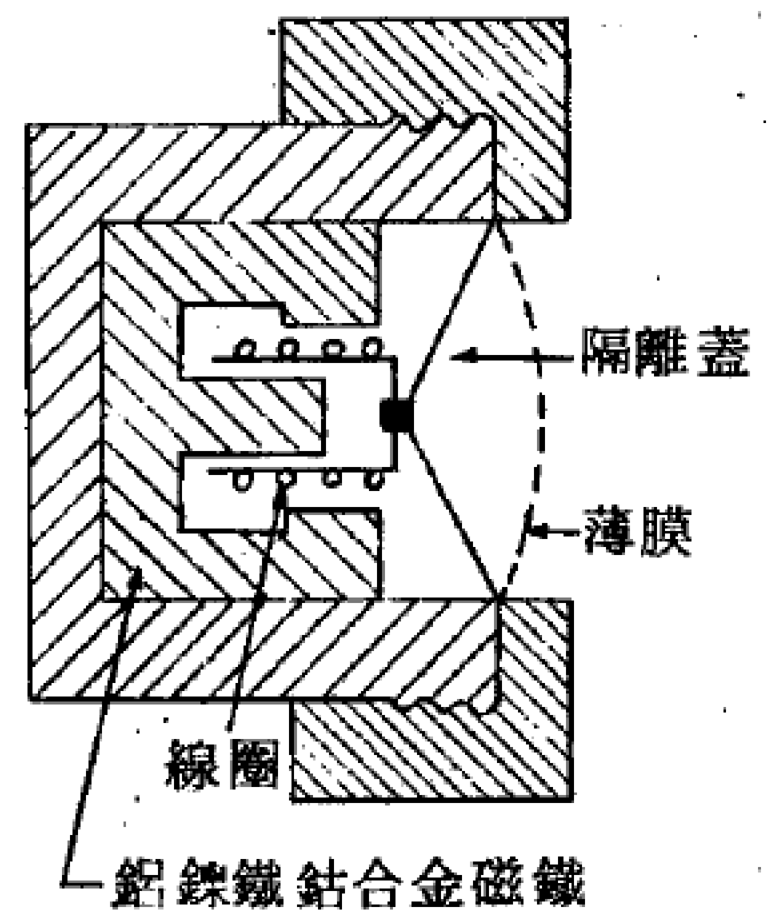


圖 11 — 15
動圈式微音器的構造

動圈式微音器輸出的頻率與音波頻率相同，輸出的振幅亦隨聲音的強度而定。動圈式微音器的輸出大小與接在膜片上線圈的圈數及電阻大小有關，所以其線路或用升壓變壓器升高後再接至放大器，如圖 11 — 16(*a*) 所示；或直接輸出接至電子管的柵極，如圖 11 — 16(*b*) 所示。

動圈式微音器的音頻響應範圍自 20～9,000 *Hz* 都很好，它與晶體式微音器（*crystal microphone*）一樣可以不需要升壓輸出，所以體積小巧方便，失眞度低，尤其是不受氣候的影響，所以目前採用的微音器以這一類型的最多。動圈式微音器採用膜片振動，與電容器式、碳精式及晶體式一樣，音波傳送的方向，對於音頻響應的範圍有相當的影響，是它唯一的缺點。

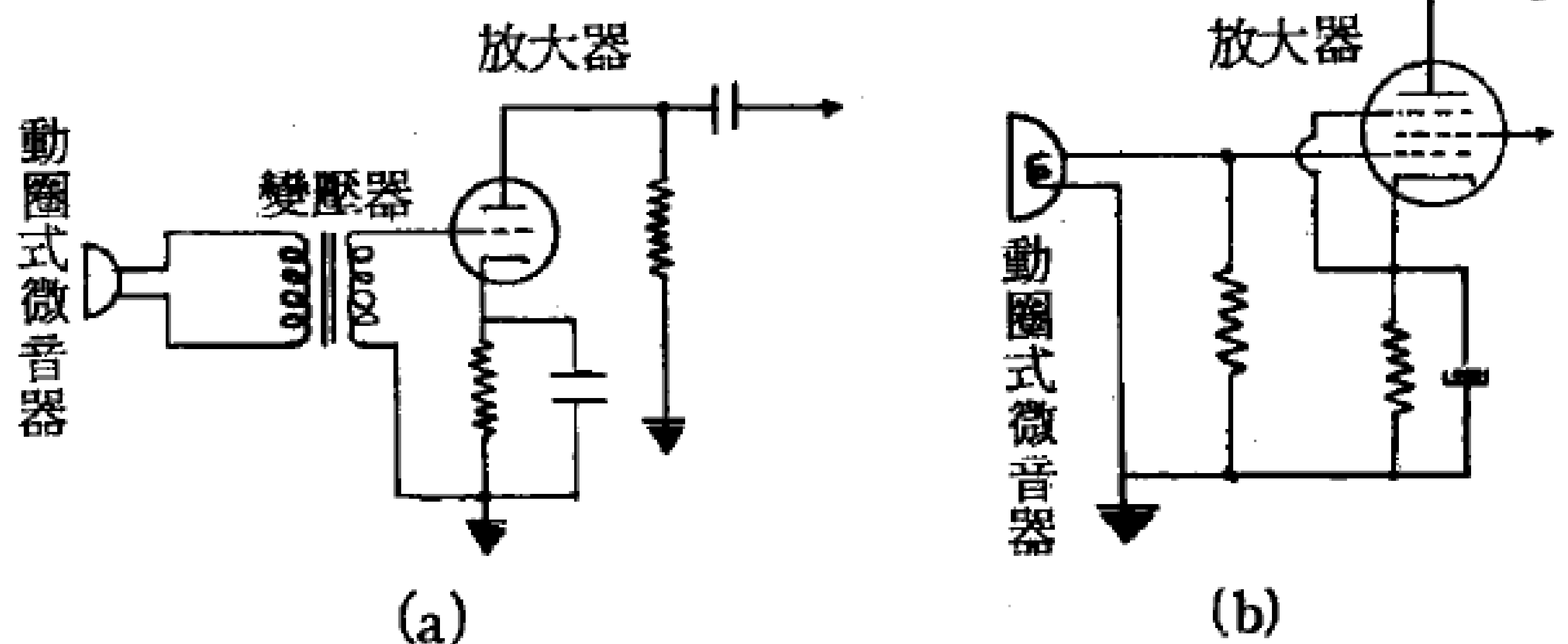


圖 11 — 16　動圈式微音器的輸出

【動場】（Dynamic field）

空間內的一個向量力場，如果每一點的性質只是位置的數學函數，我們便稱之爲靜場。如果這個場有隨時間而變化的動態現象，則此力場將爲位置和時間的向量函數，便稱爲動場。

【動量】（Momentum）

一質點的動量爲其質量m和速度$\vec{v}$的乘積；質點組的動量則爲其中各質點的動量之向量和，即其總動量

$$\vec{p}=\sum_{i}\vec{p}_{i}=\sum_{i}m_{i}\vec{v}_{i}$$

動量的時變率$d\vec{p}/dt$ 等於外力的向量和（牛頓第二運動定律）。因而若一系統中只有內力交互作用，則其動量不隨時間變化，即是動量守恆原理（*principle of conservation of momentum*）。

M.K.S.制中，動量之單位爲米－仟克－秒$^{-1}$ 。

【動量不滅定律】（Law of conservation of momentum）

動量不滅定律卽動量守恆定律。設微粒間力之作用，僅有制衡力，則任何物質微粒組成之動力系統（*dynamical system*）之總動量保持不變。卽碰撞物體之總動量，不因碰撞而變更，是爲力學重要原理之一。故一系統之總動量，僅當外力施於此系統時方能變更，否則不變。

【動量流密度】（Momentum current density）

動量流密度之定義爲單位時間內通過單位面積之對流動量（平行Y軸）之多寡，此單位面積位於對流速度的垂直方向上常以符號j_p表之。實驗上證實，j_p與對流速度梯度（卽dv/dx）成正比。故得

$$j_p=-\eta\frac{dv}{dx}\text{（黏滯流定律）}\qquad(1)$$

此定律非常類似於分子擴散的菲克定律（*Fick's law*），與熱傳導的傅立葉定律（*Fourier's law*）。（1）式中之負號，表示動量轉移發生於對流速度減少的方向上。比例因數η稱爲流體的黏滯係數(*coefficient of viscosity*)。j_p之單位爲$m^{-1}kgs^{-2}$，dv/dx之單位爲s^{-1}，黏滯係數之單位以$m^{-1}kgs^{-1}$表示。此單位的十分之一稱爲泊（*poise*），簡稱爲P。

當對流速度不太大，以及對距離之變更不太速的情況時，上式方能

適用。

【動量矩】(Moment of momentum)

角動量之別稱，又名動量矩。一旋轉物體或系統之質量與運動中心距離之相乘積爲動量矩。設(運)動量等於速度乘質量mV，r爲運動物體與中心之垂直距離，則：

$$動量矩 = mVr$$

【動量矩不滅定律】(Law of conservation of moment momentum)

即在一旋轉物體之隔離系統內，動量矩之總和保持不變。

【動量算符】(Momentum operator)

根據德布洛利(*De Broglie*)的物質波假設，可知道動量的波動性，設$\vec{k}$爲波向量，則

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

對於平面波的波函數，通常以$e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)}$表示。因此以動量代入波函數，並利用$E=\hbar\omega$的關係，則爲$e^{i(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)/\hbar}$，取波函數的梯度，得

$$-i\hbar\nabla\left(e^{i(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)/\hbar}\right) = \vec{p}\left(e^{i(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)/\hbar}\right)$$

由量子力學的觀念，動量$\vec{p}$的算符就是$-i\hbar\nabla$，可以$\vec{p}_{op}$表示之，這算符是厄米特算符(*Hermitian operator*)。寫成算符方程式爲

$$-\vec{p}_{op}u(\vec{p}) = \vec{p}u(\vec{p})$$

式中$\vec{p}$爲本徵值，$u(\vec{p})$爲本徵函數。因本徵函數$u(\vec{p})$以動量爲變數，是爲動量空間的表示法。動量算符的預期值以$\langle p_{op}\rangle$表之，則

$$\langle \vec{p}_{op} \rangle = \int u^*(\vec{p})\vec{p}_{op}u(\vec{p})d^3\vec{p} = \vec{p}$$

表示其預期值爲$\vec{p}$。

由傅立葉(*Fourier*)變換，可以將動量空間的表象變換到位形空

間表象，其關係爲：

$$\phi(\overrightarrow{r})=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}u(\overrightarrow{p})\,e^{ip\cdot r}d^3\overrightarrow{p}$$

$$u(\overrightarrow{p})=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\phi(\overrightarrow{r})\,e^{-ip\cdot r}d^3\overrightarrow{r}$$

由帕西瓦定理（*Parseval's theorem*）得

$$\int\phi^*(\overrightarrow{r})\phi(\overrightarrow{r})d^3\overrightarrow{r}=\int u^*(\overrightarrow{p})u(\overrightarrow{p})d^3\overrightarrow{p}$$

由此可視 $|\phi(\overrightarrow{r})|^2 d^3\overrightarrow{r}$ 爲粒子位於 $d^3\overrightarrow{r}$ 內的機率。同樣 $|u(\overrightarrow{p})|^2 d^3p$ 則爲粒子位於 $d^3\overrightarrow{p}$ 的機率。

【動電】（Dynamic electricity）

流動的電荷，即爲動電，又稱流電（*current electricity*）。

【動電互導試驗】（Dynamic transconductance test）

試驗電子管是否良好，能否正常地工作，最好測驗電子管的互導值。測量時不以直流電壓，而用一已知的交流電壓試驗，稱爲動電互導試驗。

【動電效應】（Electrokinetic effect）

在電場下粒子運動的現象。

【動滑輪】（Movable pully）

動滑輪是把繩的一端固定，物體掛在滑輪的軸，把繩的另一端拉上，物體就隨滑輪被拉上。

如圖 11—17 設拉繩的力爲 F 時，因繩各部分的張力與 F 相同，因此，把動滑輪拉上的力即作用在 A 點與 B 點的 F。又設動滑輪與物體重量之和爲 W，滑輪便有在 A、B 點作用的向上力 F（作用在 A B 兩點的力相等，由滑輪中心周圍的力矩平衡得知。）和作用在 O 點向下的 W 三個力作用並平衡。

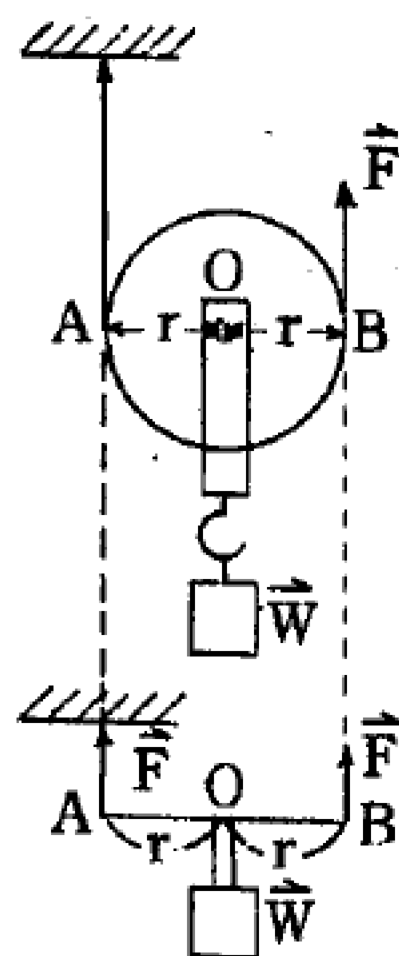


圖 11—17　動滑輪

因此　　　　$2F=W$

$$\therefore \quad F=\frac{1}{2}W$$

因這個情形也可以當作是以 A 點為支點的槓桿，所以，當作用在 B 點的力矩和作用在 O 點的 W 的力矩相等時平衡。設動滑輪的半徑為 r，

則　　　　$\vec{F}\times 2\vec{r}=\vec{W}\times\vec{r}$

$$\therefore \quad F=\frac{1}{2}W$$

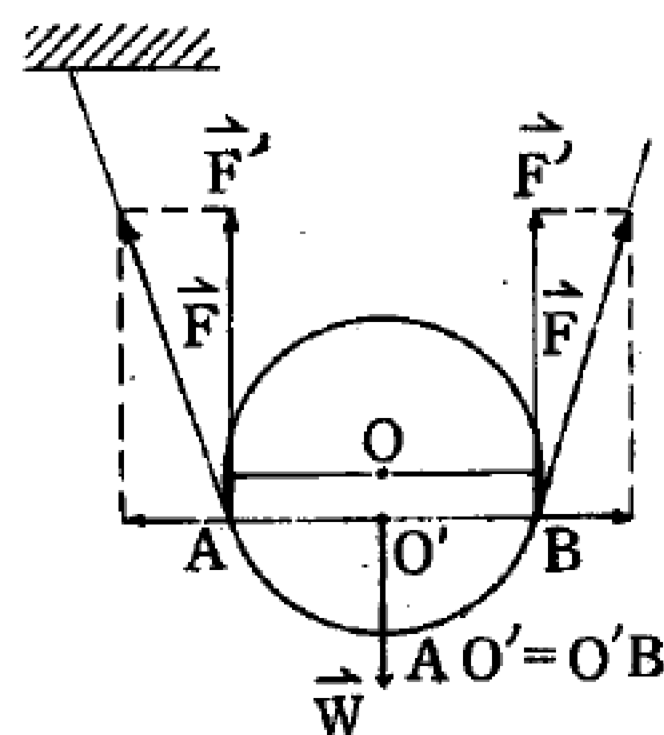


圖 11 — 18

可知，拉上的力為動滑輪與物體的重量之一半。

使用動滑輪時，要拉上的力的大小是依所拉繩子之方向而異。

如圖 11 — 18，設 A 為支點來想，則因正負二力矩大小相等　$|\vec{AB}\times\vec{F}'|=|\frac{\vec{AB}}{2}\times\vec{W}|$

$$\therefore \quad F'=\frac{W}{2}$$

由圖 11 — 18 知，因 F 比 F' 大，所以 F 須比 $\frac{W}{2}$ 大。

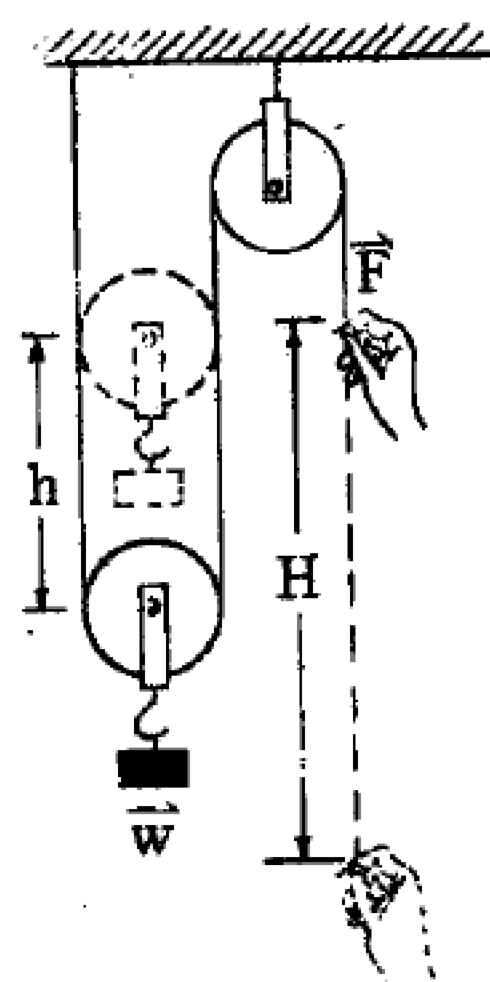


圖 11 — 19
動滑輪與功

用動滑輪一個時，如圖 11 — 19 所示，要把重量為 w 的物體引上的力 F 只為 w 的一半。但 W 要上升 h 的高度，繩子則要拉 H 的長度。由圖 11 — 19 也可知，$H=2h$。設人對動滑輪作的功為 W，滑輪對 w 作的動功為 W'，$W=F\times H$，$W'=w\times h$。如上式 $H=2h$，$F=1/2w$ 的關係時　　$W=F\times H=\frac{1}{2}w\times 2H=w\times h=W'$

即，用動滑輪一只，拉力只要一半，但拉的距離則要二倍，所以功不變。

【動態平衡】(Dynamic equilibrium)

令一物體開始移動時，就必須對這物體施以力量，同時這力量必須大於其反方向的各種阻力，靜摩擦（ *static friction* ）通常是大於動摩擦（ *kinetic friction* ）；因此，一旦開始移動後，要維持其運動就比較容易了；不過仍需繼續不斷的施以作用力。如作用力大於阻力，產生加速度。此項加速度與作用力和阻力之差成正比例。如作用力等於阻力，其結果是一等速運動。因為等速運動的情形就好像完全沒有力量在作用似的，此種狀態稱之為動態平衡。

動態平衡又稱為達朗白（ *D'Alembert* ）平衡。

因在達朗白原理中曾指出：作加速運動（ 加速度$\vec{a}$ ）的物體或質點所受有效力$m\vec{a}$（ m為質量 ），等於外力$\vec{F}_e$和約束力$\vec{F}_c$的和；即

$$m\vec{a}=\vec{F}_e+\vec{F}_c$$

這方程式可寫成

$$-m\vec{a}+(\vec{F}_e+\vec{F}_c)=0$$

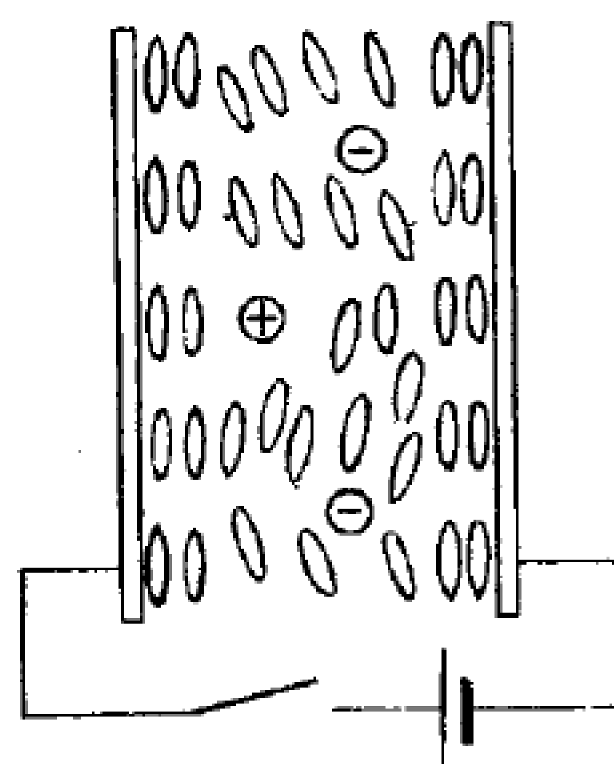
若將$-m\vec{a}$當做力（ 假力 ），則上式成為

$$\Sigma\vec{F}=0$$

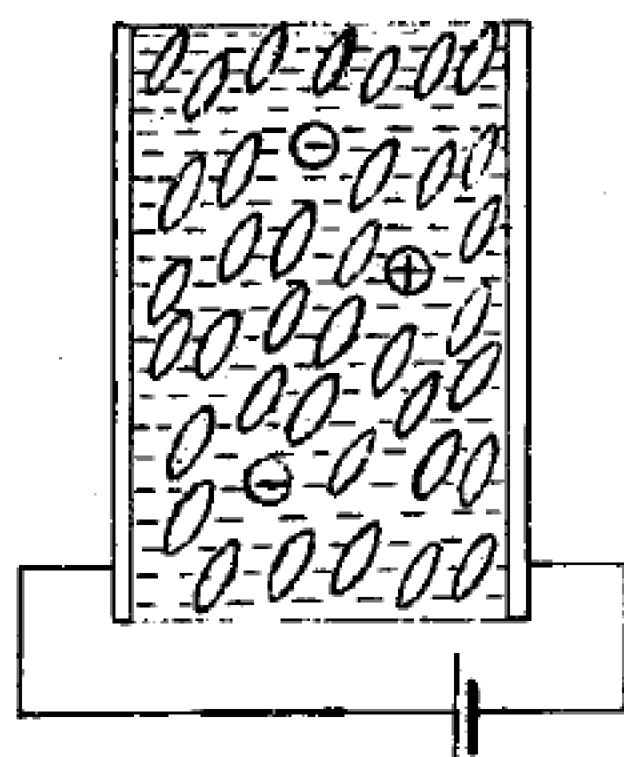
的形式，而$\Sigma\vec{F}=0$本來表示平衡狀態，所以我們稱正在加速的物體處於動態平衡中。

【動態散射】（ Dynamic scattering ）

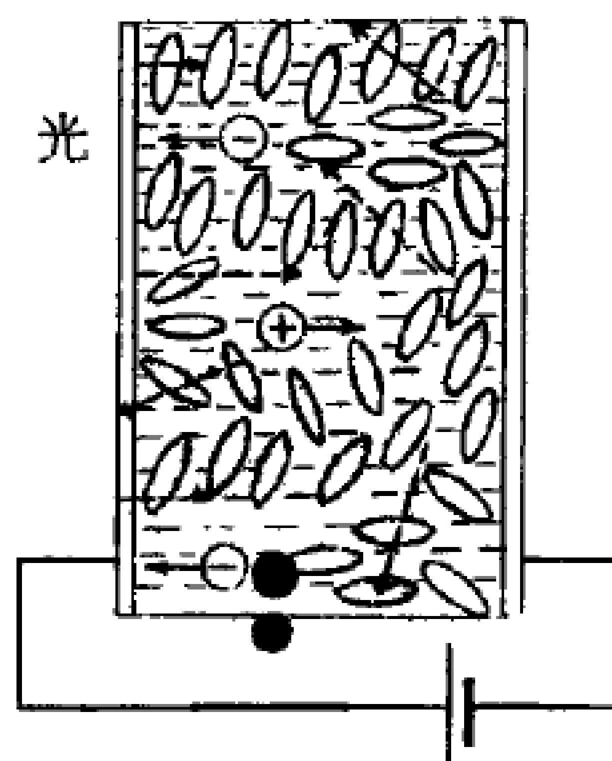
電場對液晶有很大的影響，往往一些小小的安排會產生完全不同的效果。在電場下，各不同排列方向的區域，都調整了它們的方向，互相看齊。例如*P.E.B.A.B.*（ 一種針狀液晶：*p-ethoxy-benzylidene-p'-aminobenzonitrile* ）的針狀區域就像在磁場下排隊的大頭針一樣，排得整整齊齊的。*P.E.B.A.B.*的分子有一頭正電性強，另一頭負電性強，它的正電荷中心與負電荷中心不


(a)尚未加電壓（開放電路），液晶分子有某些程度的同向排列

相會合，兩種電荷中心的連線就是電偶極矩（*electric dipolemoment*）的方向由於靜電力的作用，這電偶極矩總是喜歡與電場平行。如果這個極矩在分子的長軸上，那麽分子便希望沿電場的方向排列。向電極游動的離子可以輕易地從分子間游過，暢通無阻。但如果有一種分子，它的極矩不在長軸而在短軸上，且喜歡沿垂直於電場的方向排列。當電場一開，液晶的分子就阻止離子奔向電極。但離子要強行通過時，即會把原先排列得整齊的液晶分化成許多排列方向不同的小區域（約1～5微米大小）。這不同區域使光線散射，原來透明的液晶即變成混濁，這效應稱爲動態散射，如圖11—20。我們若製成A字形的電極，就可以使“A”字在幕上明滅。當然，把適當的電極組合起來，可以演出任何的花樣。把電源切斷，字幕隨之消失。



(b)加電壓，液晶分子全部依某一方向整齊的排列。排列的方向依液晶分子的電偶極矩與其長軸間所夾的角度而定。圖中的分子有一個電偶極矩



(c)在電場中，離子的運動打亂了液晶的排列，發生散射

圖 11 — 20
動態散射（利用這個效應可以使字幕隨意明滅）。

【動態極化係數】（Dynamic polarizability）

當電子繞原子核運動的中心被稍微拉離原子核x距離時，電子必受一個（$-kx$）的力之作用；這一作用力使電子有恢復至原來之正常狀態的傾向。設有一隨時間變化的電場$E=E_0\cos\omega t$也施於這個原子上（如角頻率爲ω的單色電磁波），則電子的運動中心的運動方程式爲

$$m_e\frac{d^2x}{dt^2}=-kx-eE_0\cos\omega t \qquad (1)$$

令$\omega_0^2=k/m_e$，則ω_0即爲原子內電子的某一自然頻率。(1)式可被

寫成

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\omega_0{}^2x=-\frac{eE_0}{m_e}\cos\omega t \qquad (2)$$

（2）式的特解為

$$x=-\frac{eE_0\cos\omega t}{m_e(\omega_0{}^2-\omega^2)}=-\frac{e}{m_e(\omega_0{}^2-\omega^2)}E$$

因此原子的感生電偶極矩（*induced electric dipole moment*）即為

$$p=-ex=\frac{e^2}{m_e(\omega_0{}^2-\omega^2)}E$$

亦即原子的極化係數為

$$\alpha=\frac{e^2}{m_e(\omega_0{}^2-\omega^2)}$$

此極化係數便稱為動態極化係數。

當原子所受的外電場為靜電場時，$\omega=0$，故原子極化係數（*atomic polarizability*）為

$$\alpha=\frac{e^2}{m_e\omega_0{}^2}$$

這便稱為靜態極化係數。

【動摩擦】（Kinetic friction）

運動中諸物體接觸面間之摩擦，稱為動摩擦。依其運動狀態之不同可分為三種：

1. 滑動摩擦（*sliding friction*）——物體沿表面移動所生之摩擦。又視其外加拉力之影響，而改變運動狀態：

(1)如外加之拉力＞動摩擦時，物體以加速度進行。

(2)拉力＝動摩擦時，物體以等速進行（通常動摩擦即指此時之拉力而言）。

(3)拉力＜動摩擦時，以減速進行。

2. 滾動摩擦（*rolling friction*）——物體沿表面滾動所生之摩擦

。因物體在地面滾動時，係由轉動而來，故外力所施之轉矩須克服物體所受摩擦而生之反方向轉矩。

3. 流動摩擦（*fluid friction*）——物體在流體中運動時的摩擦。

【動摩擦力】（Kinetic frictional force）

對物體施加較最大靜摩擦力（*static frictional force*）爲大的力時，物體就開始運動。可是，動起來之後，如把力減弱，物體便又停下來。此即表示，物體運動之後，還有阻止物體運動的力，即還有摩擦力之故。這種物體運動時所產生的摩擦力稱爲動摩擦力，通常比最大靜摩擦力爲小。如圖 11 — 21，加於物體的力與摩擦力的變化，是由於動摩擦力比最大靜摩擦力爲小，欲使物體移動時，在物體開始動時，需要很大的力，一旦動起來則所施之力即可小一點。因此，移動重的物體時，一旦動起來就讓它一直動下去，不要停下來較省力。

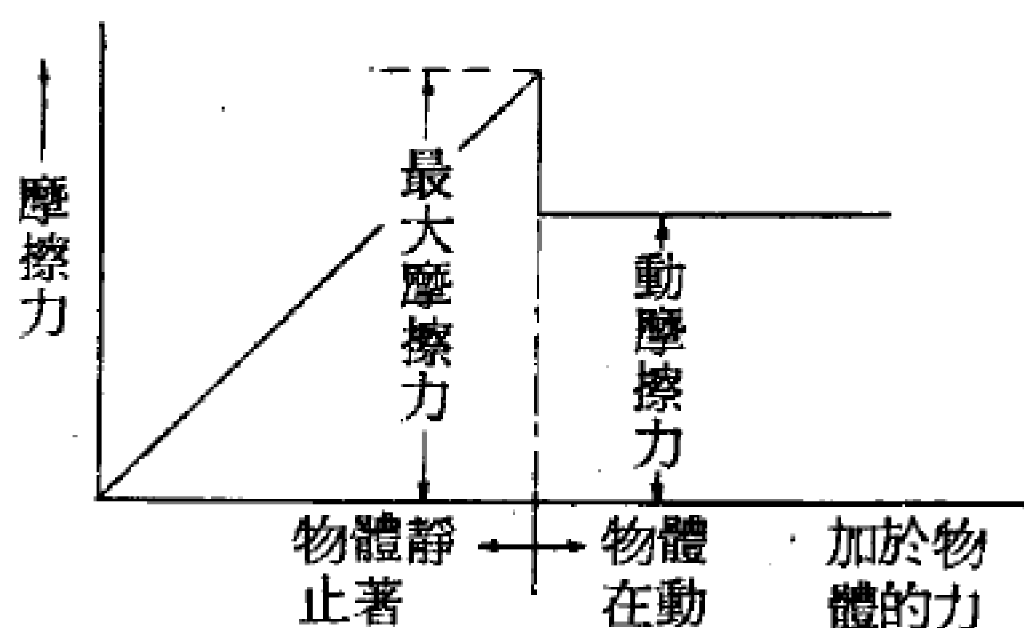


圖 11 — 21

【動摩擦係數】（Coefficient of kinetic friction）

動摩擦力的大小與正向力大小之比稱爲動摩擦係數。以 f_k 表動摩擦力的大小，則

$$f_k = \mu_k N \qquad (1)$$

μ_k 爲動摩擦係數。

最大靜摩擦力的大小與正向力大小之比稱爲接觸面之靜摩擦係數。以 f_s 代表靜摩擦力的大小，則

$$f_s \leqq \mu_s N \qquad (2)$$

μ_s 爲靜摩擦係數，N 爲正向力的大小。當 f_s 爲最大值時，方用等號。

μ_s 和 μ_k 均爲無因次之常數，各爲二力（大小）之比。就已知之一

對表面而言，通常$\mu_s > \mu_k$；μ_s和μ_k實際值與接觸表面的性質有關。雖然μ_s和μ_k均小於1，但亦可大於1。注意（1）與（2）式只表示摩擦力和正向力的大小間之關係。此二力之方向常相垂直。

未經潤滑的乾燥面間之動摩擦力所遵守之定律與靜摩擦之二定律相同。(1)在甚大之限度內，摩擦力約與接觸面積無關，(2)摩擦力與正向力成正比。動摩擦力大體上與兩面間之相對運動速率亦無關係。

上述二摩擦定律先爲達文西（*Leonardo da Vinci*）以實驗發現，1699年再爲法國工程師亞曼頓（*G. Amontons*）發現。達文西對此二定律之陳述值得注意，因其產生於牛頓建立力的觀念前200年。達文西之陳述爲：同重物體運動之初受相等之摩擦阻力，卽使接觸面之長寬可能不同。若物體重量倍增，摩擦阻力亦倍增。法國科學家庫倫（*Charles A. Coulomb*）曾作許多摩擦之實驗並指出靜摩擦與動摩擦間之差異。

【動壓力】（Kinetic pressure）

由一群粒子的動能所施之壓力。因能量密度相當於壓力，離子體的動壓力就是單位體積內的離子及電子數乘以粒子平均能量。

【動鐵式電流表】（Moving iron ammeter）

若交流電通過一個線圈，則線圈同時磁化兩鐵片使指針轉動的電流表，稱爲動鐵式電流表。

【參考坐標系】（Frame of reference）

敍述或討論物體運動狀況時，觀察者需就自己的方便，選取一組線或面，以定出被觀察物體的位置、速度、方向等。這組線或面稱爲該觀察者的參考系。

由於參考系的不同，對同一現象的描述也常不相同，我們要根據各參考系的定義，找出它們之間的關係，才能比較不同的觀察者的觀測結果，例如比較繞一固定點A轉動的觀察者，和對於A點靜止的觀察的觀

測結果。

【參量激勵】(Parameter excitation)

一個系統中產生振盪不是由於外力的直接作用，而是由於系統中某種參量的週期變化，則稱爲參量激勵。

有一根弦，其一端固定在振動著的音叉的一隻脚上，這時弦內的振動激勵就是參量激勵的一個例子。如果音叉兩隻脚的振動方向是垂直於弦的方向，則音叉只是簡單地使弦左右搖擺，這就是普通激勵的情況(由於外力的直接作用)。如果音叉兩隻脚是沿著弦的方向振動，則它將不使弦搖擺，而是週期地改變弦的張力。如果音叉的頻率接近於弦的固有振動頻率的二倍，則雖然音叉是沿著弦而作用，弦內卻要產生很強的橫振動。這已經不是外力直接作用的情形，而是由於系統中一個參數(弦的張力)的週期變化而產生的振盪之參量激勵。電的系統也有著類似的現象。週期地改變振盪廻路的電容或自感，適當地選擇參量的改變頻率(在最簡單的情況下，當參量的變化頻率二倍於廻路的固有振盪頻率時)，則在此廻路中便激勵出來很強的振盪。因爲只有在參量的作用頻率與系統的固有頻率間具有某種比值時，才可能發生參量激勵，所以這種現象就某種意義上說是與諧振現象相似，因而參量激勵也常常被叫做參量諧振。

【參數】(Parameter)

熱力學上的參數爲代表熱力系統的巨觀性質及外界影響的量。如壓力、溫度、體積、熵、磁場等。這些巨觀參數可分爲：

1. 內含參數——若用以描述系統的巨觀參數，在系統達到平衡時其值等於系統內任何一部分的值，則稱這種巨觀參數爲內含參數。故內含參數與系統的大小無關。例如溫度、壓力等。

2. 擴延參數——若用以描述系統的巨觀參數，在系統達到平衡時其值等於系統內所有各部分之值的和，這種巨觀參數即稱爲擴延參數。

故擴延參數與系統的大小成比例。例如體積、熵、內能等。

3.外參變數——爲代表考慮中的系統所受外界影響的量。如外加電場、磁場等。

【曼得士坦變數】(Mandelstam variables)

在散射過程 $a+b\rightarrow c+d$ 中，如粒子 a 的動量四維向量以 P_a 代表，且令

$$s=(P_a+P_b)^2$$

$$t=(P_a-P_c)^2$$

$$u=(P_a-P_d)^2$$

則 $s+t+u=m_a^2+m_b^2+m_c^2+m_d^2$

式中 m_a 爲 a 的質量。s，t，u 合稱曼得士坦變數，它們都是羅倫玆(*Lorentz*)不變量。曼得士坦並假設散射幅 $A(s,t,u)$ 可寫成下列的色散關係，稱爲曼得士坦表示(*Mandelstam representation*)：

$$A(s,t,u)=\int ds\,\frac{f_1(s')}{s'-s}+\int dt\,\frac{f_2(t')}{t'-t}+\int du\,\frac{f_3(u')}{u'-u}+\iint ds\,dt\,\frac{g_{12}(s',t')}{(s'-s)(t'-t)}+\iint ds\,du\,\frac{g_{13}(s',u')}{(s'-s)(u'-u)}+\iint dt\,du\,\frac{g_{23}(t',u')}{(t'-t)(u'-u)}$$

【圈轉電流計】(Moving coil galvanometer)

如圖11—22爲測定直流電流強度的儀器，(*a*)和(*b*)顯示其簡單構造。

設 S 爲線圈的面積。磁場作用於線圈的轉矩，使得線圈要轉向垂直於磁場的方向，因而扭動彈簧。當線圈轉動到一角度 α 後，磁轉矩和由彈簧產生的彈性轉矩成平衡(後者爲 $k\alpha$，k 是彈簧的扭力常數)，卽不

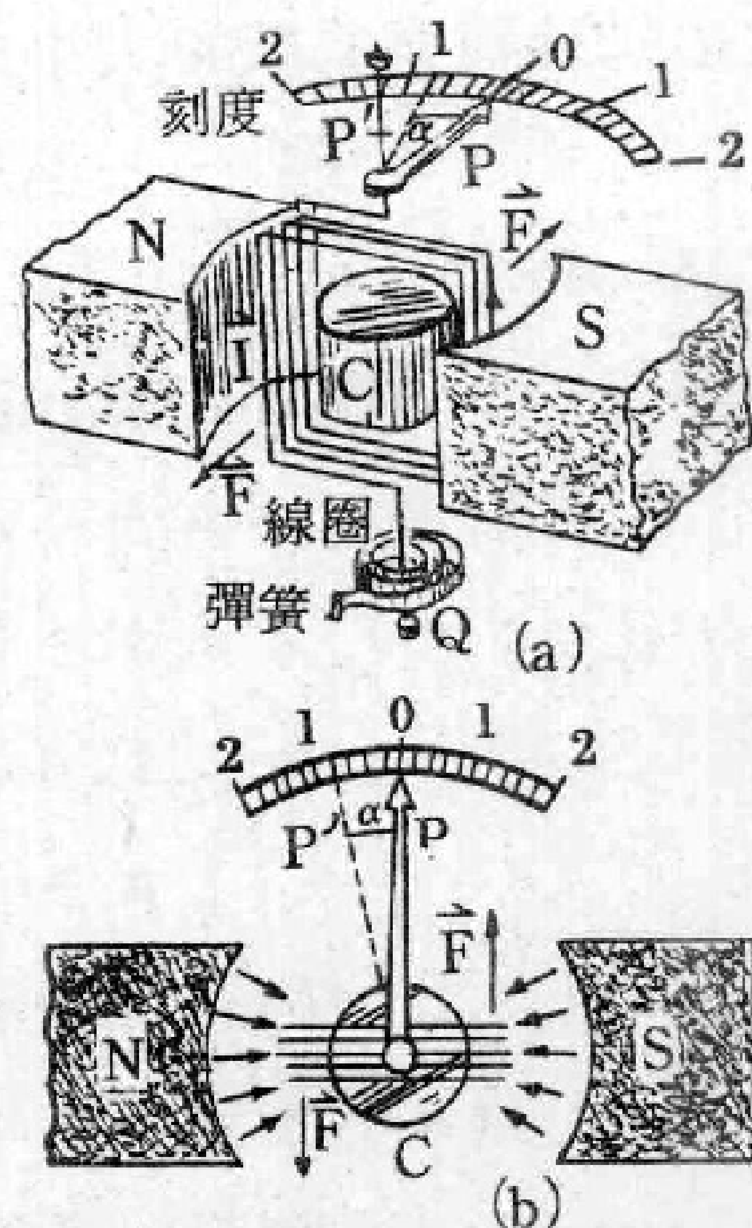
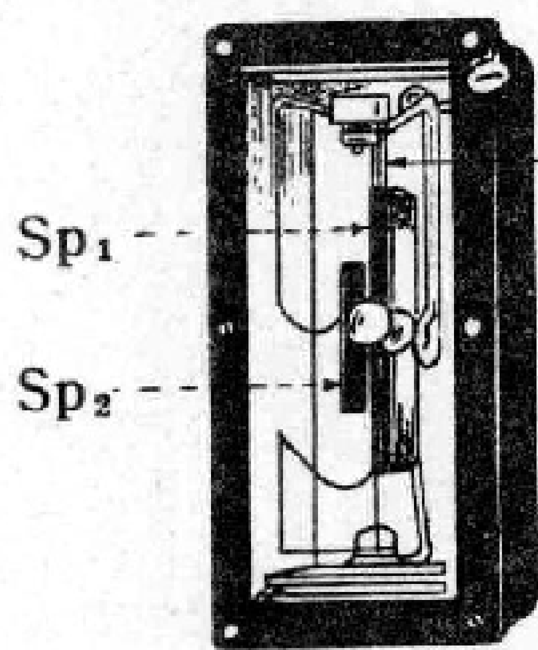


圖 11 — 22　圈轉電流計

再轉動。α 角可由一連在線圈上的指標所表示。兩極的面曲成如圖 11 — 22 (a)所示，在兩極和圓柱狀鐵芯 C 之間的逕向磁場（如圖 11 — 22 (b)），始終與 C 的表面垂直，且對刻度所允許的角位移來說，線圈所感受的磁場不變。由於 $\vec{\mu}$ 和 $\vec{B}$ 垂直，所以 $\tau = \mu B = \frac{ISB}{c}$。因在平衡時，由磁場產生的磁轉矩，和因扭動彈簧而生的反轉矩相等，則 $\frac{ISB}{c} = k\alpha$，所以電流 $I = \frac{ck\alpha}{SB}$。如果 k、B 和 S 爲已知，電流 I 就是指標所示角度 α 的函數。通常，電流表的刻度都先校準過，可以直接讀出電流的數值。

由於此電流計是直接與電路串聯使用，爲使其與電路串聯時，電流強度不變，通常用一個小電阻和線圈並聯，使電流計的總電阻減小。

【圈轉磁強計】（Moving coil magnetometer）

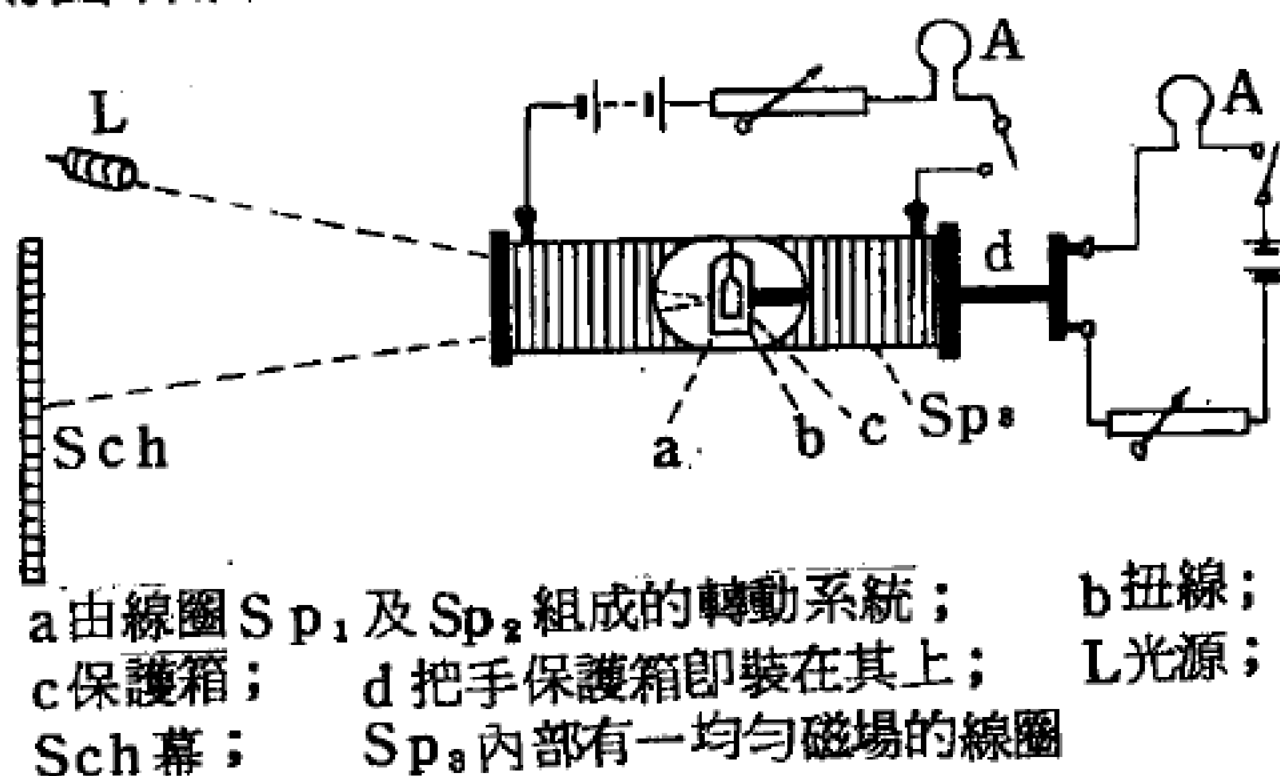


Sp_1 縱長爲 l_1 的線圈

Sp_2 縱長爲 l_2 的線圈

圖 11 — 23　圈轉磁強計

此儀器的結構示如圖 11 — 23 所示。其轉動系統係由兩個鋼固線圈 Sp_1 及 Sp_2 所組成，而此系統則固著於一扭線 b 上。線圈 Sp_1 的縱長（l_1）爲 Sp_2 者（l_2）的兩倍。二線圈的匝數均爲10。爲保



a 由線圈 Sp_1 及 Sp_2 組成的轉動系統；　b 扭線；
c 保護箱；　d 把手保護箱即裝在其上；　L 光源；
Sch 幕；　Sp_3 內部有一均勻磁場的線圈

圖 11 — 24

量度磁場對一通電導線所施作用力的裝置

護整個轉動系統起見，如圖11—23，係將其置於一箱子 *c* 之中。保護箱則裝在一個長把手 *d* 上，如圖 11 —24 。利用一個裝在此線圈偶上的小鏡，及藉助於光指針，甚至可將十分微小的轉動清清楚楚的顯示在一量尺上。

量度時將磁強計推入一每厘米約 4 匝的線圈 Sp_3 中。其接法如圖11—24 所示。

【國際日線】(International date line)

從格林威治 (*Greenwich*) 子午線向西行，每隔 15 度，手錶就要撥慢一小時，如果環繞地球一週，將要撥24小時(即 360 ÷ 15)，也就是慢了一天；如果向東的話，每過 15 度，就要失去一小時，照樣繞了一週，就失去了一天的時間。西經和東經的子午線，在 180° 相會，也就是在格林威治子午線的相反方向，這就是國際日線。

【國際伏特】(International V ; Legal volt)

$\frac{1}{1.0183}$ 衞司乔電池 (*Weston's cell*) 之電動勢，稱為 1 國際伏特。

【國際安培】(International ampere ; Legal ampere)

電解 $AgNO_3$ 時每秒在負極澱積 0.00118 克銀時之電流，稱為 1 國際安培。

【國際地球物理學年】(International geophysical year)

簡稱做 *I.G.Y.*，自1957 年七月至 1959年一月，世界各國科學家合作廣泛研究地球物理學 (*Geophysics*)，為國際性科學第三次合作，故稱第三屆國際地球物理學年，規模之宏大，成就之豐碩，為以往所不及。

人類過去為瞭解地球大氣現象，曾於 1882—1883 年舉行第一屆國際地極年，又於 1922—1923 年舉行第二屆國際地極年，除研究地球大氣外，極光 (*aurora*)、地磁不隱現象均在研究範圍內。

第一屆地極年在北極所作之研究，對於地磁、氣候、極光等知識，收穫甚豐。第二屆國際地極年之研究對於無線電通訊方面貢獻尤大，且爲高深電子學如雷達等研究工作開闢坦途。

人類科學進步神速，故原定每 50 年舉行一次國際性科學活動，已不能適應需要。國際科學協會理事會乃於 1952 年設置一特別委員會名爲：“國際地球物理學年特別委員會”，處理第三屆科學活動，並在各國成立各國委員從事計劃工作。特別委員會決定將原定 50 年舉行一次之聯合活動改爲 25 年。

第三屆國際地球物理學年科學活動，其研究重點有：(1)極光、氣光（*aurora and airglow*），(2)宇宙射線（*cosmic rays*），(3)地磁學（*Geomagnetism*），(4)冰川學（*Glociology*），(5)重力（*gravitation*），(6)電離層（*ionized layer*），(7)經緯度測定（*longitude and latitude determination*），(8)氣象學（*Meteorology*），(9)海洋學（*Oceanography*），(10)地震學（*Seismology*），(11)太陽活動（*solar activity*），(12)火箭（*rocket*），(13)人造衞星（*artificial satellite*）。

我國在學年期內亦參加研究工作，並作高空觀測及太陽輻射觀測二項研究。

第三屆國際地球物理學年成就極大，其中最主要者乃是揭開了太空時代。

【國際度量衡】（Metric system）

以厘米－克－秒爲度量衡之單位者稱之。

【國際單位】（International units）

一種測量電氣數值的單位制。其基本單位是米、秒以及所謂電流強度的國際單位安培和電阻電位歐姆。其餘一切單位都是從這幾個基本單位導出的。電壓的單位伏特就是在 1 歐姆電阻的電路中能產生 1 安培電

流的電壓。電量的單位庫倫就是1安培電流在1秒鐘內流過導體橫截面的電量。電容的單位法拉就是1庫倫電量充電到1伏特電位差時的電容。電感的單位亨利就是每秒1安培的電流變化產生1伏特自感電壓時的電感。電功的單位焦耳就是1安培電流在1伏特電壓的電路中所作的功。功率的單位瓦特就是每秒1焦耳的電流所產生的功率。實用單位制中的一切其他單位也都是根據這樣的原則來確定的。在電機工程及無線電工程中，除了採用國際實用單位制外，還採用與之完全相符的所謂絕對實用單位制(*system of absolute practical unit*)。在無線電工程中，有時對於電容和電感，採用著絕對靜電單位制(*system of absolute electrostatic unit*)與絕對磁力單位制(*system of absolute magnetic unit*)中的單位。

【國際單位制】(**International system of units**)

以米－仟克－秒及安培做爲長度、質量、時間及電流的單位，而導出物理量之單位系統。例如密度爲仟克 /米^3，電量爲安培秒(即庫倫)，力爲米仟克 /秒^2(即牛頓)等。*M.K.S.A.* 是國際單位制，以*S.I.*表之。

也有以電量爲基本量，庫倫爲其單位，稱爲*M.K.S.C.* 單位(*M.K.S.C. unit*)。庫倫定義爲當電流爲1安培時，在一秒鐘之中通過導體截面的電量。

【國際莫司電碼】(**International Morse code**)

詳閱“莫司電碼(*Morse code*)”條。

【國際溫標】(**International temperature scale**)

爲獲得簡便快速的科學或工業儀器溫度校準起見，在1927年國際間三十一個國家共同規定的溫度定標方法，稱爲國際溫標。後在1948年稍有修正。

1. 從0° *C* 至660° *C* ——使用直徑0.05毫米至0.20毫米的

鉑絲電阻溫度計，溫度公式爲

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

式中常數R_0、A和B分別由冰點、沸點、硫的熔點而定。

2. 從－190°C至0°C——使用和1.相同的鉑電阻溫度計，而溫度公式爲

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + c(t - 100)t^3]$$

R_0、A和B的決定與1.相同，而c須由氧的沸點決定。

3. 從660°C至1,063°C——使鉑和銠合金（銠10％）的熱電偶一接點保持0°C。各線的直徑應在0.35與0.65毫米之間，溫度公式爲

$$R_t = a + bt + ct^2$$

式中a、b、c分別由銻、銀、金的熔點決定。

4. 金熔點以上的高溫須由光測高溫計而決定。

【國際歐姆】（International ohm；Legal ohm）

質量爲14.4521克（或截面積1 mm^2），長106.3厘米之均勻水銀柱在0°C時對電流所呈的電阻，稱爲1國際歐姆。1國際歐姆＝1.00048絕對歐姆。

【國際標準大氣】（International standard atmosphere）

用來比較航空器（*aircraft*）性能的一種理想大氣，這種大氣是假定在平均海平面，溫度攝氏15度，氣壓1,013.2毫巴（*millibars*），且由海平面上升至11公里，則每公里垂直溫差（*lapse rate*）爲攝氏6.5度。由此上升則溫度恆假定爲攝氏－56.5度。

【執照物料】（Licensed material）

源料、特種核材料或副產材料的接收、持有、使用或移轉都須經過原子能委員會或州政府發給執照。這些物質稱爲執照物料。

【堆】（Pile）

即反應堆。

詳閱“反應堆（*Pile*）”條。

【堆集瑕疵】（Stacking faults）

在晶體中如想留最少的空隙，有兩種堆集法，第一層最密集的排法，應如圖11—25中六個圓球的排列法，其間留下E_1至E_6六個空缺。第二層排列於其上，就只能佔在其中三個空缺，如1、3、5或2、4、6。第二層若堆在E_1、E_3和E_5，則當排第三層圓球時，空缺的位置就有E_2、E_4、E_6及六個M位置。所以第三層排列時可以排在M上，也可以排在E_2、E_4及E_6上；前者即和第一層排列一樣，後者

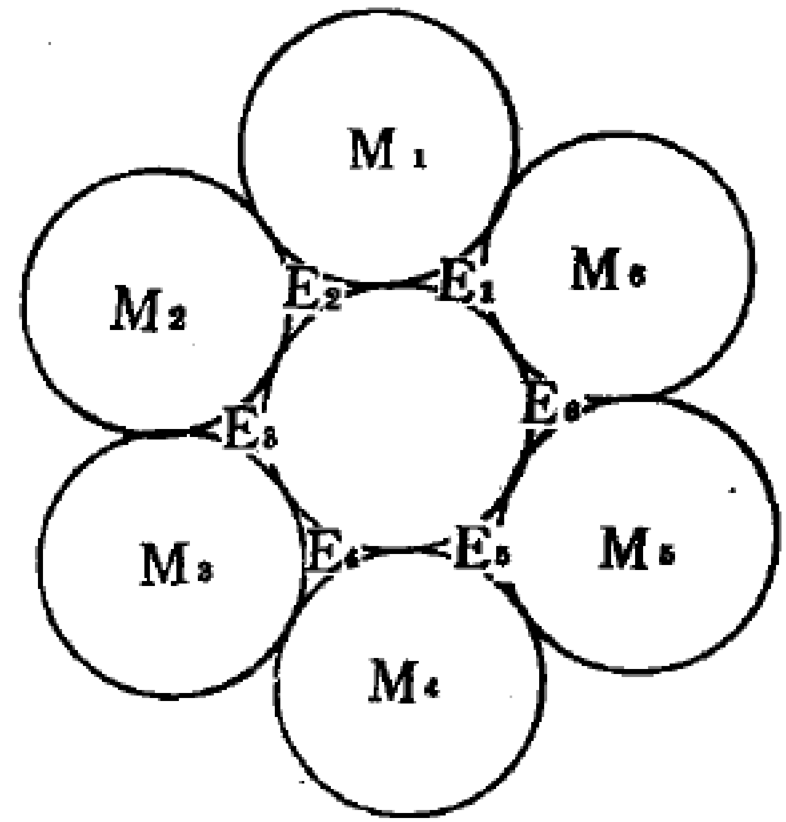


圖11—25

卻不同於第一、第二層。於是最密堆集就有兩種形式：一是*ABABAB*…；另一是*ABCABCABC*…。分別代表前述兩種情形：前者爲六角最密集晶格（*H.C.P.*）；後者爲立方密集晶格稱面心立方晶格（*F.C.C.*）。如果在晶體形成時沒有完全照這兩種形式之一而行，卻是如*ABCBCABC*…之類的錯亂排列，這就造成了堆集瑕疵。譬如在面心立方堆集中排列應屬*ABCABC*型，如果錯排進一些*ABAB*的排列，這就是一些可以在*Ag*及$\gamma-Al_2O_3$等晶體之中發現到的堆集瑕疵。

【培根】（Roger Bacon 1214—1292）

英國的科學家。企圖藉實驗證明每一科學性的記述；開現代科學研究系統之先河。

【基本力】（Fundamental force）

基本力指下述幾種：

1. 重力（*gravitational force*）——由於物體具有質量而產生的。

2. 電磁力（*electromagnetic force*）——電荷靜止或運動時所

具有的交互作用。

3.核力（*nuclear force*）——基本粒子（*elementary particles*）間的距離接近10^{-13}厘米時所存在的一種交互作用。核力又可分為兩類：即強交互作用（*strong interaction*）及弱交互作用（*weak interaction*）。

物理學家現在已相當透徹地了解重力與電磁力的性質。但是，對於核力我們仍然所知無幾；核力隨距離變化的關係亦尚未找出。

【基本交流阻抗】（Fundamental alternating impedance）

由電阻（*electric resistance*）、感抗（*induced impedance*）、容抗（*capacitive reactance*）三者串聯而成之總阻抗。一般算式如下：

$$基本交流阻抗=\sqrt{(電阻)^2+(感抗-容抗)^2}$$

其他任何複雜電網皆可視作基本阻抗之串並聯路。

【基本金屬】（Base metal）

基本金屬是指要焊接的金屬而言。要焊接的金屬普通是兩件相同的金屬。

【基本粒子】（Elementary particle；Fundamental particle）

在我們的宇宙內所有的物體都是由一些最基本的成分所構成的。這些最基本的成分，稱為基本粒子。在1932年以前，物理界所知道的基本粒子只有質子（*proton*）、中子（*neutron*）、電子（*electron*）與光子（*photon*）。在1932年電子的反粒子（*anti-particle*），正子（*positron*）被發現。微子（*neutrino*）在這段時間內也獲得了理論上的地位，只是正式的證明在1956年以後，才被提出。另外，在1936年，μ介子（*muon*）從宇宙射線（*cosmic rays*）內被發現出來，1947年，帶電的π介子（*pion*）又被發現，到了1950年，又加上一

種中性的 π 介子。

1947 年以後，基本粒子的發現，有加快之趨勢。物理學家們觀察到很多奇異粒子（ *strange particles* ）的轍跡。這些奇異粒子又包含兩組，其中一組的質量約為電子質量的一千倍左右，統稱為 K 介子（ *kaon* ）。另一組的性質與質子及中子相似，其質量皆大於質子的質量，統稱為超子（ *hyperon* ）。

核子（包括質子與中子）與超子之反粒子的發現，也使基本粒子物理更向前推進一步。另外，近年來所發現的各種共振態（ *resonance state* ）也可被認為是半衰期極短的粒子。

近年來，基本粒子的研究還在進行中，由於量子場論（*quantum field theory*）的協助，已經稍微了解基本粒子間的電磁交互作用與弱交互作用，然而到現在為止對於強交互作用，尚沒有令人滿意的理論。比較成功的一些研究，除了利用場論外，還利用群論作對稱性（ *symmetry* ）的研究。圖 11－26 所示為一些粒子被發現的時間表，可供參考。

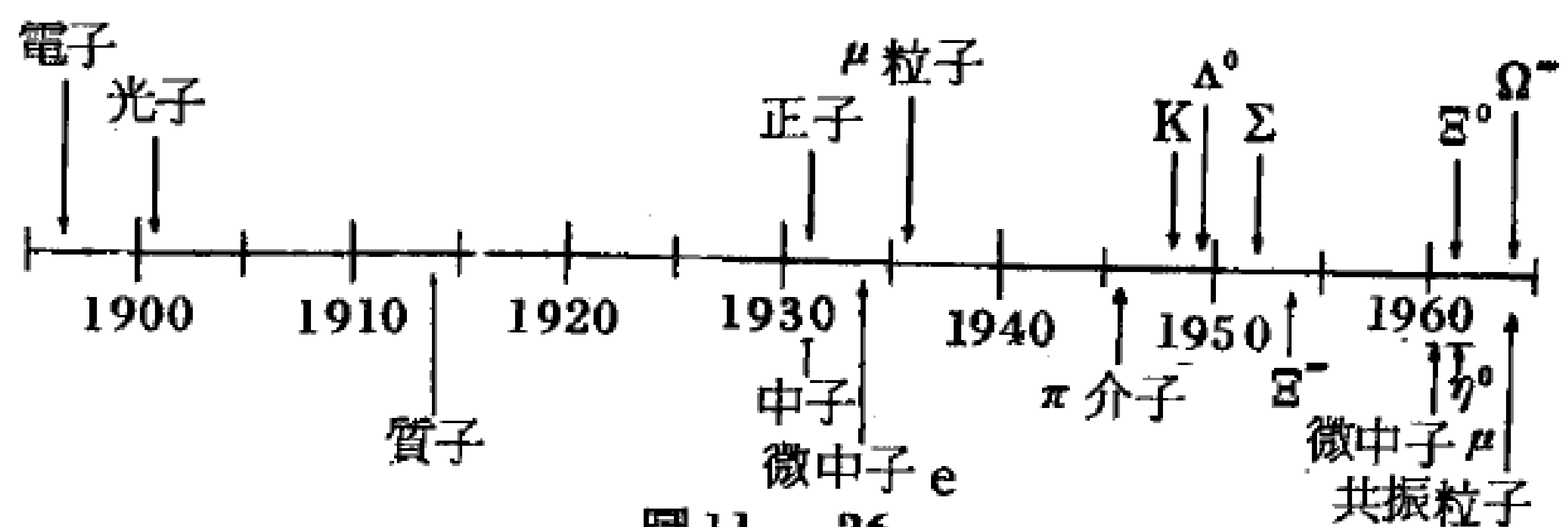


圖 11 — 26

基本粒子實驗性發現的時間表。有些粒子是根據理論基礎在實驗觀察之前預言的，有些是偶然中發現的。

現在我們所知道的基本粒子約有數十種之多，其中大部分是不穩定的。不穩定的基本粒子，在經過一個短的生命期（ *life time*）之後，就會衰變成為其他的基本粒子。在這些不穩定的基本粒子內，最主要的可算是中子和 π 介子，後者為構成核力的主要成分。π 介子在幾百萬分之一秒內即轉變為 γ 射線；少數的基本粒子是穩定的，其中最主要的有電子、質子、光子等。

我們觀測基本粒子，主要是去測量它們的各種性質，以及它們之間交互作用的表現。一般基本粒子的主要性質繫於其質量（*mass*）的大小，電荷（*charge*）的正負或無電荷，以及自旋（*spin*）的速率。這些性質，對基本粒子間交互作用的表現是很重要的。

基本粒子間的交互作用，照現在所知道的來說，共有四種：(1)強交互作用（*strong interaction*），(2)電磁交互作用（*electromagnetic interaction*），(3)弱交互作用（*weak interaction*），(4)重力交互作用（*gravitational interaction*）。在這四種交互作用之內，現代的物理學家對第二、第四種知道得比較多一些，對第一、第三種知道得並不太多。我們可以各舉一個例子來說明，質子和中子在它們靠得非常近的時候（$\sim 10^{-13}cm$）所感受到的作用力，是由於強交互作用。兩個帶電荷的基本粒子在相隔比較遠一點的距離（$\sim 10^{-8}$ cm）所感受到的作用力是由於電磁交互作用。中子的衰變（半衰期約爲 1,000秒）是由於弱交互作用。兩個質量不是零的中性粒子在比較遠的距離內（$\sim 10^{-8}$ cm）所感受到的非常微弱之吸力，是由於重力交互作用。這些交互作用的表現之一，是一個基本粒子會使其附近空間的基本粒子感受到力。

根據它們的質量以及交互作用所及的範圍，這些基本粒子可分爲(1)輕子族（*leptons*），或輕粒子，(2)介子族（*mesons*），或中間質量粒子，和(3)重子族（*baryons*），或重粒子。重子與介子具有四個交互作用；即強交互作用、電磁交互作用、弱交互作用和重力交互作用，而輕子對強交互作用並不敏感。

關於基本粒子的許多迷惑而未被解決的問題之一爲這些粒子的質量似乎不顯示任何方式的規律性。另一方面，這些粒子或者不帶電或者帶 $\pm e$，這個事實表示與電荷守恆定律（*law of conservation of charge*）有密切的關係。絕大多數的粒子還有磁偶極矩（*magnetic dipole moment*）。

我們根據粒子的自旋，可以把基本粒子分爲兩大類：

1.自旋量子數（*quantum number of spin*）爲整數，我們稱之爲波子（*bosons*）。在量子場論的處理中，兩個同種的波子之線態向量需要完全對稱。在這種情形之下，沒有狀態的互斥（*exclusion*）。

2.自旋量子數爲半整數，我們稱之爲費子（*fermion*）。兩個同種的費子的線態向量需要完全逆對稱，因此，就會有狀態的互斥。

在波子中，自旋爲零的粒子，我們稱爲介子（*meson*），它是強子的一種。又由於超電荷（*hypercharge*）的不同，我們又可以將它分爲下列數種：

1. $Y=0$，$I=1$——π 介子，它是一個同位旋三重態（*iso-triplet*），由同位旋的分量而再分爲：

(1) $I_3=1$，π^+

(2) $I_3=0$，π^0

(3) $I_3=-1$，π^-

π 介子爲核力（*nuclear force*）的主要產生者。

2. $Y=0$，$I=0$——η 介子，它是一個同位旋單重態，質量約爲 550 *MeV* 左右，它可以經由電磁交互作用而衰變至 π 介子與光子主要的衰變形式爲：　$\eta^\circ \to \pi^+ + \pi^- + \pi^\circ$

$$\to 3\pi^\circ$$

其半衰期極短，大致不到 10^{-20} 秒。

3. $Y=1$，$I=\frac{1}{2}$——K 介子，它是一個同位旋雙重態（*iso-doublet*），其中包含：

(1) $I_3=+\frac{1}{2}$，K

(2) $I_3=-\frac{1}{2}$，K^0

4. $Y=-1$——這是 K 介子的反粒子，也是一個同位旋雙重態，內

有：

(1) $I_3=+\frac{1}{2}$，$\overline{K}^0$

(2) $I_3=-\frac{1}{2}$，K^-

在此應注意的是K^0與$\overline{K}^0$的質量相同，並且都不帶電，然而由於超電荷的分別，這是二個不同性質的粒子。

上面八個粒子態的宇稱（*parity*）都是－1，通常我們以“ 0^- ”表示之（“ 0 ”表示自旋）。圖 11－27 爲以 I_3 與Y爲坐標軸，而畫出這八個粒子的位置。

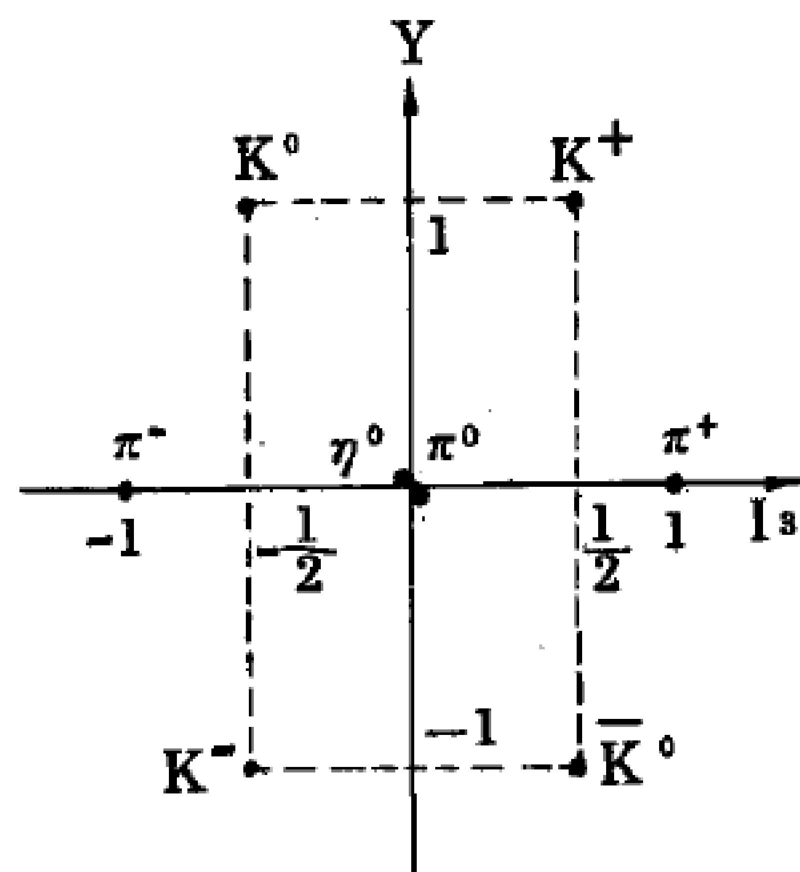


圖 11－27
以 I_3 與 Y 爲坐標表示出八個 0^- 介子的性質

費子（*fermion*）中最低的自旋爲$\frac{1}{2}$，我們也可以找出八個這樣的重子，其宇稱都是＋1（以“ $\frac{1}{2}^+$ ”來表示）。

1. $Y=0$，$I=1$——同位旋二重態，稱爲Σ粒子：

(1) $I_3=+1$，Σ^+

(2) $I_3=0$，Σ^0

(3) $I_3=-1$，Σ^-

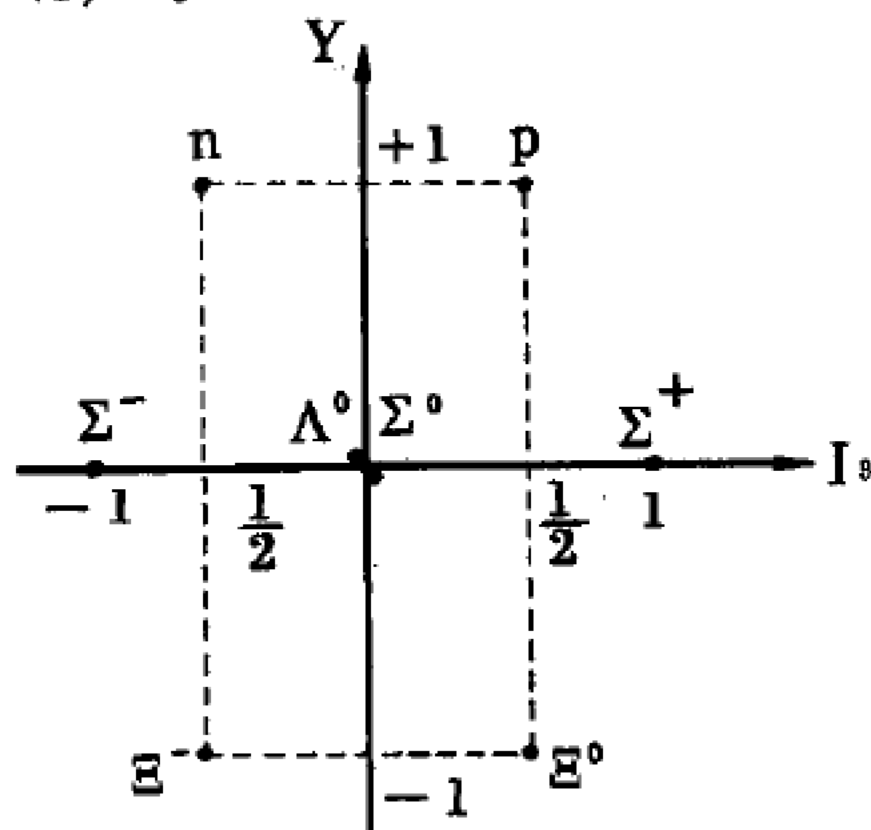


圖 11－28
以 I_3與Y爲坐標表示出八個 $\frac{1}{2}^+$ 重子（B＝1）的性質

2. $Y=0$，$I=0$——Λ^0粒子。

3. $Y=+1$，$I=\frac{1}{2}$——這就是我們所熟悉的核子雙重態：

(1) $I_3=\frac{1}{2}$，p

(2) $I_3=-\frac{1}{2}$，n

4. $Y=-1$，$I=\frac{1}{2}$——這裏另外有一個雙重態，稱爲Ξ粒子：

(1) $I_3 = +\frac{1}{2}$, Ξ^0

(2) $I_3 = -\frac{1}{2}$, Ξ^-

上面八個$\frac{1}{2}^+$的重子的性質也可用$I_3 - Y$ 坐標來表示，如圖11—28 所示如果這八個重子的重子數為$B = +1$。這八個重子有八個對應的反粒子，其重子數為-1。下爲輕子和重要強粒子的性質表可供參考。

輕子的性質表

輕子	自旋 ħ	電荷（質子電荷）	電子數	緲子數	質量 (MeV)	平均壽命（微秒）	衰變過程
ν_e	1/2	0	1	0	0	穩定	
ν_μ	1/2	0	0	1	0	穩定	
e^-	1/2	−1	1	0	0.511	穩定	
μ^-	1/2	−1	0	1	105.66	2.2	$\mu^- \to e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

重要的強粒子表（I、G、C分別代表同位旋、宇稱性及電荷共軛性）

粒子	$I^G(J^P)^C$	超電荷	質量 (MeV)	平均壽命（秒）或共振寬度（MeV）	主要衰變形式	衰變百分比(%)
π^+	$1^-(0^-)$	0	139.58	2.60×10^{-8} 秒	$\mu^+\nu_\mu$	100
					$e^+\nu_e$	1.24×10^{-2}
					$\mu^+\nu_\mu\gamma$	1.24×10^{-2}
π^0	$1^-(0^-)^+$	0	134.97	0.84×10^{-16} 秒	$\gamma\gamma$	98.8
					γe^+e^-	1.16
K^+	$\frac{1}{2}(0^-)$	1	493.8	1.24×10^{-8} 秒	$\mu^+\nu_\mu$	63.8
					$\pi^+\pi^0$	20.9
					$\pi^+\pi^+\pi^-$	5.6
					$\pi^+\pi^0\pi^0$	1.7
K^0	$\frac{1}{2}(0^-)$		497.8	50% K_L, 50% K_S	參閱C.P.T.定理	

粒子	$I^G(J^P)^c$	超電荷	質　量（MeV）	平均壽命(秒) 或共振寬度（MeV)	主要衰變形式	衰變百分比(%)
K_S				0.86×1$0^{-10}$秒	$\pi^+\pi^-$ $\pi^0\pi^0$	68.7 31.3
K_L				5.17×10^{-8}秒	$3\pi^0$ $\pi^+\pi^-\pi^0$ $\pi\mu\nu_\mu$ $\pi e\nu_e$ $\pi^+\pi^-$	21.4 12.6 26.8 38.9 0.157
η	$0^+(0^-)^+$	0	549	2.6KeV	γ $3\pi^0$ $\pi^0 2\gamma$ $\pi^+\pi^-\pi^0$ $\pi^+\pi^-\gamma$	38.6 30.3 3.3 23.1 4.7
x^0	$0^+(0^-)^+$	0	958	<4MeV	$\eta\pi\pi$ $\pi^+\pi^-\gamma$	64±5 29±3
ρ	0	0	765±10	125±20MeV	$\pi\pi$	100
ω	$0^-(1^-)^-$	0	784	11.4±0.9MeV	$\pi^+\pi^-\pi^0$ $\pi^+\pi^-$ $\pi^0\gamma$	90±4 1 9±1
K^{*+}	$\frac{1}{2}(1^-)$	1	892	50MeV	$K\pi$	100
p	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	1	938.26	穩　定		
n	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	1	939.55	1.01×10^{3}秒	$pe^-\bar{\nu}_e$	100
Λ	$0(\frac{1}{2}^+)$	0	1,115.6	2.52×10^{-10}秒	$p\pi^-$ $p\pi^0$	64 36
Σ^+	$1(\frac{1}{2}^+)$	0	1,189.4	0.8×10^{-10}秒	$p\pi^0$ $n\pi^+$	51.7 48.3

粒子	$I^{G}(J^{P})^{c}$	超電荷	質量 (MeV)	平均壽命(秒)或共振寬度(MeV)	主要衰變形式	衰變百分比(%)
Σ^0	$1(\frac{1}{2}^+)$	0	1,192.5	$<1.0\times10^{-14}$ 秒	$\Lambda\gamma$	100
Σ^-	$1(\frac{1}{2}^+)$	0	1,197.4	1.49×10^{-10} 秒	$n\pi^-$	100
Ξ	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	−1	1,314.7	3.03×10^{-10} 秒	$\Lambda\pi^0$	100
Ξ	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	−1	1,321.3	1.66×10^{-10} 秒	$\Lambda\pi^-$ $\Lambda e^-\nu_e$ $n\pi^-$	~100 0.07 <0.1
Ω^-	$0(\frac{3}{2}^+)$	−2	1,673	1.3×10^{-10} 秒	$\Xi\pi$ $\Lambda\bar{K}$	? ?
$\Delta(1,236)$	$\frac{3}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1	1,236	140MeV	$N\pi$ $N\gamma$	99.4 0.6
$\Sigma(1,385)$	$1(\frac{3}{2}^+)$	0	1,385	36 MeV	$\Lambda\pi$ $\Sigma\pi$	90±3 10±3
$\Xi(1,530)$	$\frac{1}{2}(\frac{3}{2}^+)$	−1	1,530	7MeV	$\Xi\pi$	100

【基本粒子物理學】(Elementary particle physics)

是現代物理學的一個最新支派。這是研究組成物質的原子，或是出現於原子現象之次原子微粒子(*subatomic particles*)性質的一門學問。原子物理學家們深信，基本粒子的研究，是瞭解核子秘密的鎖鑰，其成就將無可限量。除了可以從中獲得自然世界結構和組成的知識外，還可以得到釋放原子能的新方法。也許有一天會因此發展出一種威力強大的炸彈，和氫彈比較起來，其威力僅像一支爆竹。如用之於和平用途上，這種新方法也許會大大地擴大原子能世紀的遠景。

物理學家們發現，除了那些可以適合於目前假定的原子結構規則的質點以外，還有更多的其他基本質點之存在。在適當的情形下，其中某些質點可以被轉變爲其他的質點。有些質點也是有放射性的，能在非常

的短時間中衰變爲另外的質點。也有人主張這種次原子微粒既不是基本的也不是微粒的質點。其理由基於一項事實，即在適當的情況下，這些東西以波的特性表現。目前原子物理學家最大的問題之一，是要以波的現象來認識質點的現象。爲了達到這一企圖，現在已趨向於應用數學的演繹來說明此種現象了。最進步的理論，已放棄藉機械的模型來解釋的方法了。

【基本粒子之量子數】（Quantum number of elementary particle）

每一個粒子都必定具有動量與能量的量子數。這些量子數都是連續的，而且，依照特殊相對論（*special theory of relativity*），它們之間有如下的關係：

$$E^2 - |\vec{p}|^2 c^2 = m^2 c^4$$

除了動量與能量之外，基本粒子還有其他之不連續的量子數。這些量子數的本身，可以被看作爲粒子的基本性質。此外，我們可以憑藉著這些量子數，對各種基本粒子加以分類。

在上式中的質量m也是各基本粒子的特性之一。物理學家們很希望由各種內具的（*internal*）量子數（即除了動量與能量以外的量子數）來對各質量找出一點關係來，然而在這一方面，到現在還沒有完全成功。

基本粒子的各種內具的量子數包括：(1)自旋（*spin*），(2)同位旋（*isotopic spin*），(3)超電荷（*hypercharge*），(4)宇稱（*parity*）(5)重子數（*baryon number*），(6)輕子數（*lepton number*），(7)電子數（*electron number*）。

【基本量】（Fundamental quantity）

長度（*length*）、質量（*mass*）及時間（*time*），稱爲基本量。現在亦有將電荷（*charge*）當作基本量的。

長度是一最主要的觀念，不需對它下以定義；我們就自然地能了解它。時間一量也是一樣；但質量和電荷就不是那樣能被直接感覺出來。簡單的說質量是代表每一質點特性的一種係數。當一個質點和其他質點相互作用時，這個係數能決定這個質點的性質如重力作用強度者然。

同樣地，電荷也是一種代表每一質點特性的另一種係數，當這質點和其他質點相互作用時，這一係數決定它和其他質點間的交互電磁作用的強度。也許兩個質點在相互作用時，尚有其他不同性質的係數存在，但至目前，還沒有被人發現過。

基本量的劃分是任意的，一量在某一運算中可爲基本量，而在另一運算中則爲導出量（*derived quantity*）。欲定義導出量須基於其他的物理量，例如速度、加速度和體積常被認作導出量；基本量不能以其他物理量定義之。基本量的數目，是對所有物理量有一致和明確的描述時，所需之最少數目。基本量的操作定義包括二步驟：第一，標準的選擇；第二，標準與被測的量之比較步驟的建立，以使所得數字和單位爲量度結果。

理想標準有兩個主要特性：易得與不變。這兩個要求常不相容，兩者之間應予協調。起初之標準多著重於易得性，但由於科學與工藝上日增的需要，而逐漸著重於不變性。例如熟悉的碼、呎和吋是直接由人的臂、足和拇指定出，現在對這種粗略的長度標準不再滿意，需用變動較少的標準，甚至犧牲其易得性。

常用於科學及工程上的基本量有三種單位制，即是米－仟克－秒制或*M*．*K*．*S*．制；高斯制即厘米－克－秒制或*C*．*G*．*S*．制；英國工程制即呎－磅－秒制或*F*．*P*．*S*．制。克與仟克爲質量單位，磅爲力單位。

【基本單位】（Fundamental unit）

用以表示基本量（*fundamental quantity*）的單位，稱爲基本單位。

在科學上，應用最廣的長度、質量和時間基本單位是厘米－克－秒制（ *centimeter-gram-second system* ）簡稱*C.G.S.*制。而用米－仟克－秒的稱*M.K.S.*制；英國利用呎－磅－秒的稱*F.P.S.*制。

【基本晶體接收機】（ Fundamental crystal receiver ）

圖 11 — 29 為晶體接收機。就一個眞正的接收機而言，僅像一個玩具而已，但晶體接收機，卻符合無線電接收的基本原理及其應有的條件。

由接收機接收天線所得的信號，經一射頻升壓變壓器送入電感器－電容器（ *L* － *C* ）槽路，升壓變壓器又可將信號放大（見圖 11 — 29 (*a*)）。電感器－電容器槽路調諧於所欲接收的射頻載波信號頻率，就能達到選擇的目的了（圖 11 — 29 (*b*)）。因晶體具有單向導電的特性，所以可將所接收的信號予以整向（圖11 — 29 (*c*)）。通常所用的晶體都是礦石，如方鉛礦、矽及碳化矽等。由旁路電容所構成的基本濾波器，可將射頻脈衝電流除去，使其不流經耳機。最後利用耳機將變動的聲頻信號，變為相應的聲

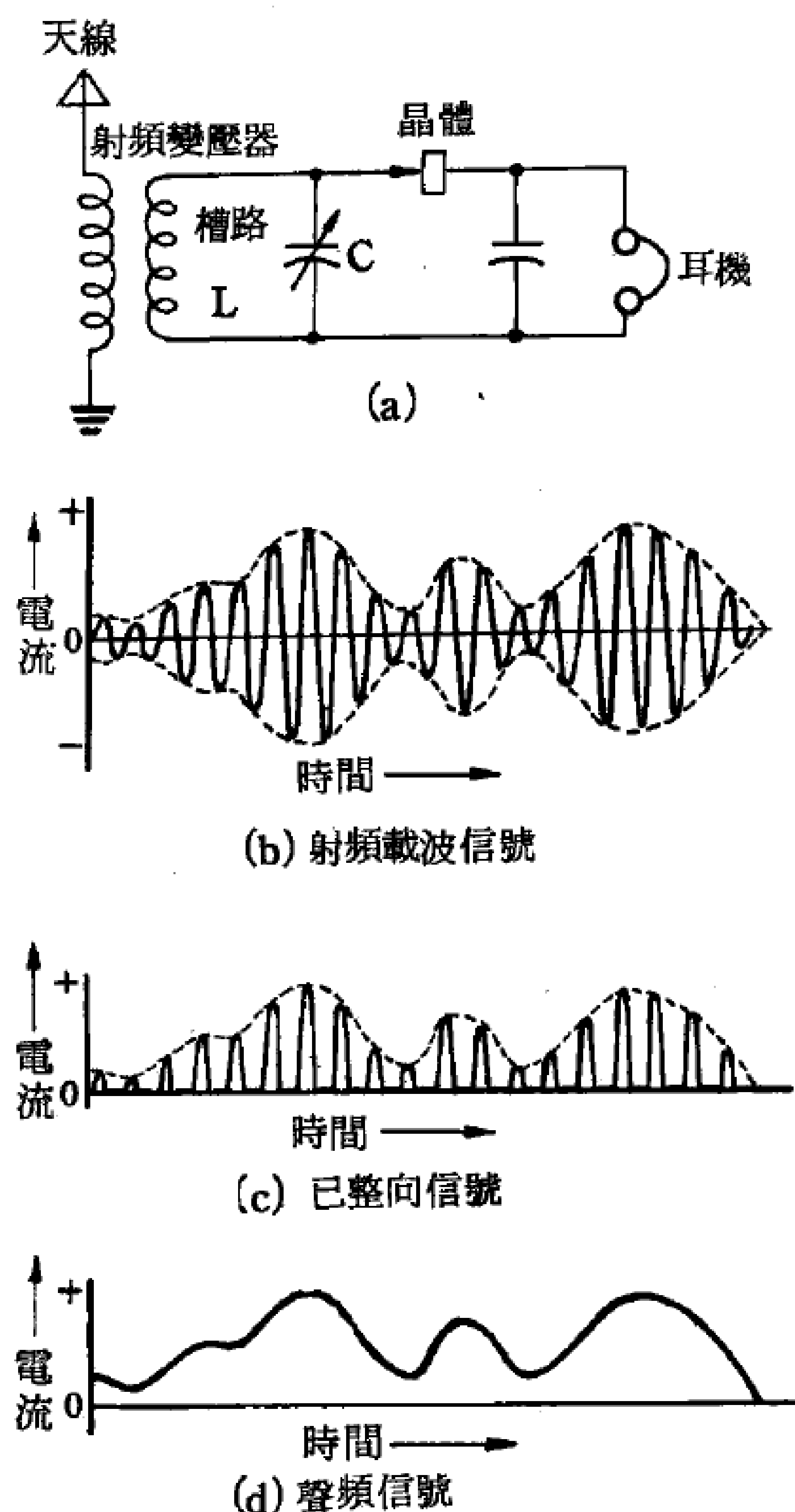


圖 11 — 29　晶體接收機的作用原理及電路

且所輸出的能量不足以推動揚聲波。由於晶體接收機的選擇性不佳，並器，所以現在已經很少見了。

【基本電荷】(Elementary charge)

由密立坎之實驗(*Millikan's experiment*)結果，得知電荷具有自然單位，此自然單位，稱爲基本電荷。所有帶電體的電量，均爲基本電荷的整數倍。

1基本電荷＝1.602×10^{-19}庫倫。

【基本質點】(Fundamental particle)

基本質點乃是基本粒子之別稱。

參閱"基本粒子(*Elementary particle* ; *Fundamental particle*)"條。

【基音】(Fundamental tone)

任何樂器若加以精密觀察，就可以發現它並非僅作一種振動；除主振動以外，尚還有許多小振動。主振動所發的音最低，稱爲基音。發音體所發出音的高低是由基音來決定。

【基極】(Base)

晶體管中的一個電極，其作用及任務與電子管的柵極一樣。

【基極接地式放大器】(Base grounded amplifier)

一種晶體管放大器，它的基極作爲發射極與集電極的共用點。輸入信號加在射極，由集電極取出輸出信號。其線路及電子管等線路如圖11－30所示。

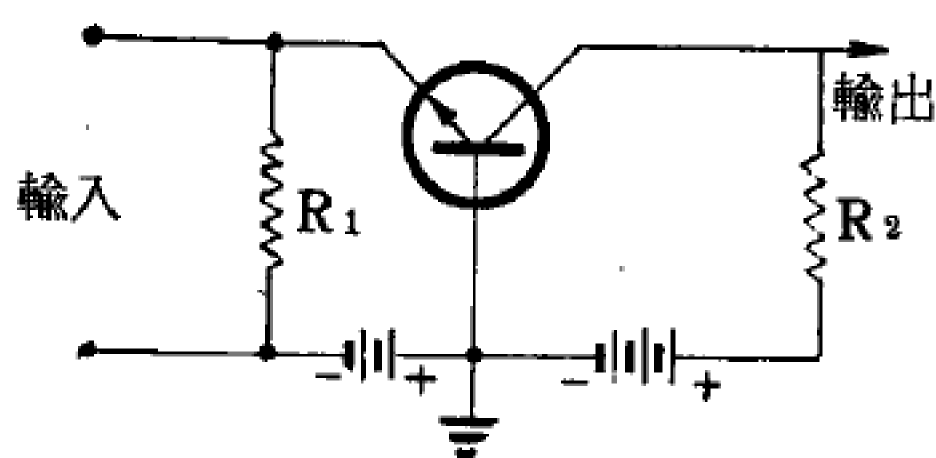


圖11－30

【基極偏壓】(Base bias)

供應給基極用的偏壓。

【基極電流】(Base current)

流過晶體管基極的電流，其數值有時頗大。

【基準溫標】(Basic scale of temperature)

根據氣體之屬性而作爲量度溫度之標度，稱爲基準溫標。

【基態】(Ground state)

原子內各電子均在其最低能量的軌道上運行時，稱爲基態，又稱爲正常狀態(*normal state*)。也就是說，原子在未接受能量時的原有正常狀態稱爲基態。

【基線】(Base line)

一條經精確測量而作爲測量基準之線稱爲基線。三角測量之準確與否，端視此線是否準確而決定其效果。用在天體測量時之基線極長；觀測月球距離時所使用之基線即爲地球之直徑，作恆星測量時之基線即爲地軌之直徑 186,000,000 哩，以測出恆星之視差。

【基線系】(Fundamental series)

又稱白格曼系(*Pergmann series*)。原子最外層爲一個、二個或三個電子(H、He^{+}、Li^{++}…除外)的光譜，包含一群重疊光譜線系，其中類似巴爾麥系則具有下列形式的特性

$$\nu = \frac{R}{(a+c_1)^2} - \frac{R}{(n+c_2)^2}$$

式中的 a, c_1, c_2 爲原子與線系的特性常數，R 是原子的芮得柏常數，n 爲整數，且 $n > a$。總角量子數 n 從三至二($F \to D$)的線系稱爲基線系。

【基諧波頻率】(Fundamental frequency)

1. 簡諧振動的系統，其振動最低的可能頻率。

2. 一週期波或週期性的量之各成分頻率的最大公約數。

【基點】(Cardinal points)

基點就是東(E)、西(W)、南(S)、北(N)四點；其中兩點是子午圈和地平的交點，另外兩點是卯酉圈和地平

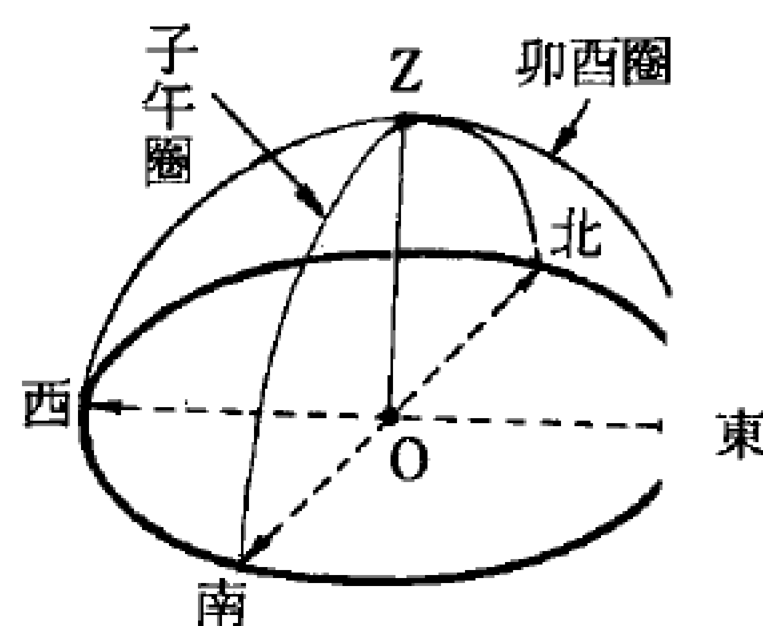


圖 11 － 31

的交點。卯酉圈和地平的兩交點中，如圖11 — 31 所示，每天太陽上升的方向叫做東，另一點叫做西。我們站在地平面上，向著東的方向，則右邊的子午圈和地平的交點叫做南，左邊方向叫做北。

【密立坎】(Robert Andrews Millikan 1868—1953)

1868 年三月廿二日生於美國伊利諾州毛利斯鎮 (*Morris town*) 。為奧柏林 (*Oberlin*) 學院學士碩士，1893 年入哥倫比亞大學，成為該校物理學系唯一的研究生，並在1895 年獲得博士學位。畢業後赴歐洲柏林和哥廷根等當時世界最佳的研究所從事研究，回美國後任教於芝加哥大學。由1909 年起開始一連串實驗，用油滴準確的測定電子的電荷，因而獲1923 年諾貝爾物理學獎。1921 年離芝大赴加州理工學院任諾爾曼橋 (*Norman Bridge*) 研究所所長，至 1945 年退休。任內領導一群物理學家研究宇宙射線，最重要的發現是安德生 (*Corl David Anderson*) 在宇宙射線中發現第一個反粒子，和安德生與尼德梅爾 (*Neddermeyer*) 共同發現第一個質量介於電子與質子之間的基本粒子 (緲子) 。1953 年十二月十九日逝於加州帕莎丁納 (*Pasadena*)。

【密立坎油滴實驗】(Millikan's oil-drop experiment)

第一個證實電荷量子化並求得基本電荷 e 值的是美國物理學家密立坎 (*Robert A. Millikan*)，在 1909至1913 年間所作的油滴實驗，其實驗裝置簡圖如圖 11 — 32所示。

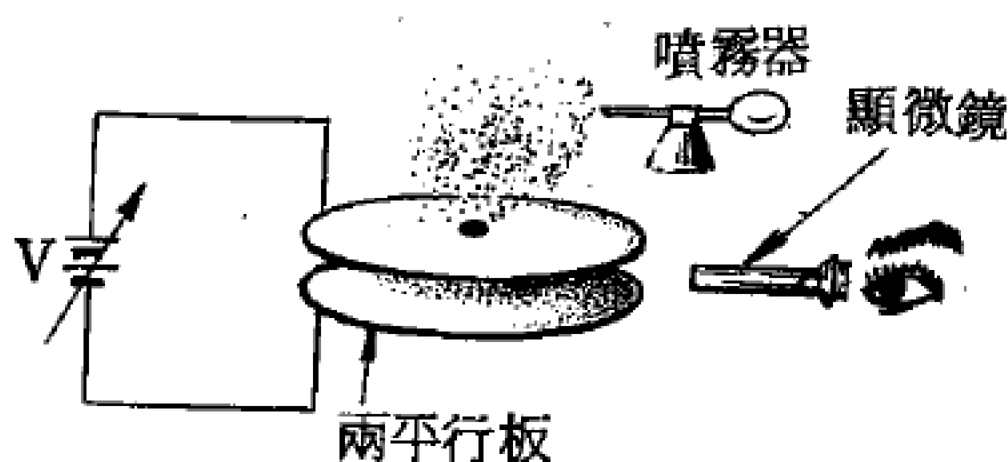


圖 11 — 32

該裝置主要包括加有可變電位差的兩平行金屬板 (間隔約 1 毫米，面積約100厘米^2)。由於電位差V，使兩金屬板間產生電場$E = V / d$ ，d 是兩板間隔。假設兩板之間有一油滴 (質量m 及電荷 q) ，其所受垂直方向的電力為Eq 。適當調節板間電位差，可使此電力等於油滴所受重力 mg ，且方向相反。此時，油滴所受淨力為零，它將靜止不動。則由

$$mg = Eq$$

可得

$$q = \frac{mg}{E}$$

若已知電場強度E，油滴質量m和重力加速度g，就可求得所帶電荷q。

實際操作時，油滴是由噴霧器噴出，再由上面金屬板的小孔進入板間。大多數油滴在經過噴霧器噴嘴時，因摩擦而帶電。油滴所帶電荷也可藉X或γ射線的局部照射而改變。二金屬板側還有強光照射，使油滴閃閃發光，而便於觀察者藉顯微鏡觀測其動態。

金屬板間的電場可由電位差和其間隔算出。油滴之質量m，密立坎則利用未加電場時，油滴在空氣中降落已知距離所需時間而推算得之。由於空氣的黏滯性，油滴在空氣中很快就到達終端速度（由觀察法量得），亦即地心吸力mg 等於油滴與空氣的摩擦力。假設黏滯力隨油滴速度成正比，則終端速度v 到達時

$$mg = Kv$$

此實驗的精確度與比例常數K關係很大。在高精度要求下，可採用司托克士定律（*Stokes' law*）以求黏滯力，結果爲

$$mg = 6\pi\eta a v$$

式中η是空氣的黏度，a是油滴半徑。因爲油滴半徑與其質量有關，即

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$$

由上二式與已知的ρ、η和v可算出油滴質量。前面已述及如何得知m和E，油滴所帶電荷當可求得。

密立坎對各種不同放射線照射量照射過的油滴作了數千次實驗，結果顯示，q幾乎均爲1.60×10^{-19} 庫侖的整數倍。最後結論是電荷爲量子化者，且電荷量子的大小是1.60×10^{-19}庫倫；自然界中所有電荷都是此數的整數倍。密立坎又定義

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{庫倫}$$

爲基本電荷。電子所帶電荷是$-e$，而正電子所帶者是$+e$。以後科學家求得更精確的e值是1.60219×10^{-19}庫倫。

【密耳】(Mil)

計算電線直徑之長度單位，等於千分之一吋。

【密耳呎】(Mil-foot)

指一吋徑，一呎長的物體。各種金屬的溫度係數常以此值爲基準。

【密合近似法】(Tight binding approximation)

討論固體中電子性質最簡單的計算，是假設它們都是自由電子，在晶格中隨意游動。另一極端近似的方法就是密合近似法，假設幾乎所有電子都被各原子所束縛，只能在原子附近運動，而運動路徑也與自由原子中的電子軌道相似。利用這種假設，再加上晶體具有之週期性的條件，電子波函數可寫成下面的形式：

$$\phi_k(\vec{r}) = \Sigma_l \, exp(i\vec{k}\cdot\vec{r})\, \phi_a(\vec{r} - \vec{l})$$

ϕ_a是電子軌道波函數，$\vec{k}$是波向量，$\vec{l}$是各原子在晶格中的位置，其計算的結果對解釋能帶的構成很有幫助。很自然的，這種近似法對過渡元素的內層軌道能帶以及惰性氣體的晶體都很合適，因爲這些能階的電子不是在內層就是不易激發的。但對良導體的傳導電子，這種近似法就不太合適。

【密度】(Density)

對一均勻的物體密度是此物體的質量對其體積之比；對非均勻物體時則稱爲平均密度，其定義相同。亦即物質的密度是此物質之單位體積的質量。其單位爲克／厘米^3，仟克／米^3，磅／呎^3 等。

比重（*specific gravity*）或相對密度（*relative density*）是物質的密度除以水的密度，爲一比值，故無單位。

在討論弦線的問題時，常用弦線密度（*linear density*），即弦線

單位長度的質量，以克／厘米，仟克／米或磅／呎爲單位。

【密度矩陣】(Density matrix)

若一系統可以一量子力學的波函數代表：

$$\psi=\sum_{\alpha jm} A_m^{\alpha j} U_m^{\alpha j}$$

式中$U_m^{\alpha j}$構成一組完全正交的本徵函數，其總角動量的本徵值爲$j(j+1)\hbar^2$，沿子軸之分量的本徵值爲$m\hbar$，其他算符的本徵值爲α；則以$\rho_{\alpha jm,\alpha' j' m'}=(A_m^{\alpha j})^* A_m^{\alpha' j'}$爲元素的矩陣，稱爲密度矩陣。

【密集狀態】(Condensed state)

液體及固體因膨脹有限，統稱爲密集狀態的物質，而密集狀態即指液態與固態。

在固體及液體中，有時數個分子常互相集結，而成一群，群與群間常有較大之空隙。例如，水受冷則凝結成冰，冰內分子則集合成群，故其體積反比水爲大。

【寄生天線】(Parasitic antenna ; Parasitic aerial)

寄生天線可用以達成指向輻射。在主天線旁架設特種導線，藉互感作用而取得功率輸出。

【寄生抗流線圈】(Parasitic choke coil)

用以遏止寄生振盪波而插入於振盪管柵電路內之抗流線圈。

【寄生捕獲】(Parasitic capture)

在任何反應中，吸收中子(例如在反應器中)而不進一步分裂或產生新的可裂材料的吸收作用稱爲寄生捕獲。在反應器裏面，這種過程是吾人所不欲其發生的。

【寄生振盪】(Parasitic oscillation)

寄生振盪即是在正常的工作中，電路中所產生不應當有的振盪。在電子管電路中，寄生振盪的產生是由於存在有寄生反饋(*parasitic*

feedback)。在高頻放大器中常常會出現寄生振盪，此因：(1)電子管柵極電路和屏極電路間存在著電容或電感寄生耦合；(2)管內柵極與屏極之間存在著極間電容。爲了消除寄生振盪的第一個原因，就必須正確地裝接電路和細緻地加以屏蔽。爲了消除第二個原因，需要採用簾柵管和五極管。寄生振盪有時也發生在低頻管放大器內，這主要是因爲存在著經過電阻（例如電源內阻）而發生的正反饋。爲了消除這類情況的寄生振盪，可在電源上旁接一個大電容。在一切情況下，放大器在同一頻率上所得到的總增益越大，就越容易發生寄生振盪。在同一頻率上得到較大增益的主要困難之一就是有發生寄生振盪的危險。

通常低頻放大級與中頻放大級間的電容耦合，亦是產生寄生振盪的原因。以下的特徵可說明這點：

1. 振盪是以馬達聲和嘯叫聲的形式出現，這種聲音在波段開關和調諧鈕的任何位置都可聽到。

2. 當接觸低頻放大器、變頻器及高頻放大器電子管的控制柵極時，振盪不中斷。

3. 接觸中頻放大管控制柵極時，振盪中斷。

爲了消除上述的電容耦合，需要在底板與第一級低頻放大的電子管屏極間聯一電容器（200～2,000 微法）。這個電容器的容量是用實驗辦法選定的，同時應當考慮到電容量增加會引起較高寄頻的損失。

寄生振盪一般產生於本機振盪器中。其找尋的最簡單方法是測量本機振盪器的柵極電流，電流一般爲0.1～0.5毫安。

檢查柵極電流，應當採用最大量程爲1～1.5毫安的毫安表進行。毫安表聯接於本機振盪器陰極與柵漏之間；並且電表的正端子要聯至陰極。

工作正常的本機振盪器柵極電流不是不變的。在較低的頻率時，柵極電流的數值略微減小些。其電流的變化不應當是突然的。假若在波段

中的某一處，電表的指針突然的跳動，那便說明在這個地方產生了寄生振盪。

消除寄生振盪，可以用不同的方法。用具有大電阻率導線繞成的反饋線圈，常可獲得良好的效果。變動本機振盪器線圈間的耦合度也是一個辦法。最後，用100～1,000歐姆的電阻串聯在柵極電路中（柵極與線圈之間）往往也可以達到消除寄生振盪的目的。

【寄生振盪遏止器】（Parasitic suppressor）

使用感應圈及電阻加入柵路，以遏止寄生的高頻振盪。

【寄生電流】（Parasitic current）

因電路有寄生作用而產生的電流。

【寄生電容】（Parasitic capacity）

在導體自身應起的作用來說，不應當有；但因導體彼此相隔不遠而又不可避免的導體間的電容稱爲寄生電容，如匝間電容或極間電容。寄生電容通常會發生有害的作用，它可使儀器的輸入電容加大，或產生寄生電容耦合。

【寄生電感】（Parasitic inductance）

連接線、電子管引線、電容器板等所具有的分佈電感稱爲寄生電感。這種電感會發生有害的作用。電流頻率越高，寄生電感的不良作用通常就越顯著。

【寂靜區】（Zone of silence）

靜默區域。短波之特性往往發射在幾百哩外，被收報機接收電信頗易；而在幾百哩內，則接收不易，介乎此間者稱寂靜區，又稱越距。

【屏內阻】（Internal resistance of plate）

電子管屏極與燈絲間之耗阻稱爲屏內阻，普通以 r_p 表之。設電子管之放大因數爲 μ，互導爲 g_m 時，則屏內阻爲：

$$r_p = \frac{\mu}{g_m}$$

式中r_p爲屏內阻，μ爲放大因數，g_m爲互導。

【屏負荷阻抗】(Plate load impedance)

屏流經過屏極間的總阻抗，常是表現工作效能的一個工具。

【屏柵電容】(Plate grid capacitance)

管內屏柵對立成功的電容量。

【屏極】(Plate)

1. 電子管的陽極是電子管中的一個電極，常用熔點很高的金屬如鎳、銅等製成，用以吸引從陰極發出的電子，使電子管內部造成電子流。若要屏極吸引電子，其電位須較陰極爲高，方能使從陰極發射出的電子，在電場的作用下，飛向屏極。

2. 電容器的導片。

3. 蓄電池電極之一。

4. 晶體的俗名。

【屏極反應】(Anode reaction)

電子管屏極負載對屏極電流強度的影響。屏極反應引起的原因是：在電子管裏，屏極電流的強度旣與柵極上的電壓有關，也與屏極上的電壓有關。如果在電子管屏極電路內接入一個電阻，則屏極電流在這個電阻上所產生的電壓降係以屏流的強度爲轉移。因爲電子管屏極上的電壓等於電源電壓（電池組、整流器）減去屏極負載上的電壓降，所以當柵極上的電壓變化時，屏極電流和屏極上的電壓都要發生變化。當柵極上的電壓變化時，所發生的這個屏極電壓的變化就決定了屏極負載對屏流強度的影響，此即屏極反應。如果屏極負載是一個有效電阻，則當屏流增加時，負載上的電壓降也增加，屏極上的電壓便因而下降，從而又使得屏極電流的增加速度降低，這樣，屏極反應就使得電子管的動態特性曲

線的斜率比靜態者為小。如果屏極負載是電抗性的，則負載上的電壓與屏極電流之間便有了相位的移動，因而屏極反應除了使動態特性曲線的斜率發生變化外，還會使屏極電流與柵極電壓間發生相位移。

【屏極功力效率】(Plate power efficiency)

輸出電力與屏極電路消耗電力的比值。

【屏極加鍵】(Plate keying)

電報發射機之電鍵，放在屏極電源供給之電路上。

【屏極供給】(Plate supply)

供給屏極高電位，陰極低電位的電源。

【屏極阻抗】(Plate impedance)

在電子管屏陰兩極間所發生。

【屏極負荷】(Plate load)

接在電子管屏極和陰極之間的電阻或電抗（或者二者都有）。電子管的屏極電流通過屏極負荷時，便在負荷上產生電壓降。電壓降的大小，決定於負荷阻抗和屏極電流的強度。如果在柵極上交流電壓的影響下，屏極電流的數值有了變動，則屏極負荷上的電壓也就發生變化。這時，屏極負荷上的交流電壓可能比加於柵極上的電壓要大得多。這樣，屏極負荷可在屏極電路中得回被電子管放大了的電壓。

【屏極峯反壓】(Peak inverse anode voltage)

指整流管兩電極未發生閃絡的最大瞬時峯值反壓。

【屏極峯壓】(Peak forward anode voltage)

屏陰間瞬時電壓的最大值，其方向為屏極吸取電流者。

【屏極特性】(Plate characteristic)

指出電子管屏壓屏流關係的曲線。這些曲線常是在幾個不同柵壓下繪成的。

【屏極效率】(Plate efficiency)

電子管屏極加載的交流電力是從屏極電源直流電力改變而來，故兩者的比值卽爲放大器之屏效率。

【屏極旁路電容器】(Plate by-pass capacitor)

一電容器接在電子管屏路，以方便射頻電流返回陰極者。

【屏極散逸】(Plate dissipation)

電子管屏極變熱的電力損失。

【屏極電阻】(Plate resistance)

所謂屏極電阻，就是在三極管內阻止電子由陰極向屏極運動的電阻。屏極電阻與屏極直流電阻(*D.C. plate resistance*) 不同，屏極直流電阻就是只要加穩定的直流電壓於各極，而在屏極與陰極間電流爲直流時的電阻。直流屏極電阻可從特性曲線上，依照歐姆定律 (*Ohm's law*) 直接求得。其關係如下：

$$直流屏極電阻 R_p = \frac{E_b}{I_b} \text{ 歐姆 (ohm 或 } \Omega \text{)}$$

電子管用於放大器 (*amplifier*) 時，屏極電阻 (交流屏極電阻的簡稱) 對於電子管有非常重要的意義。當各極所加的電壓爲變動的或交流電壓時，阻止交流屏極電流流動的電阻，就稱爲交流屏極電阻。屏極電阻的定義是：當柵極電壓保持一定不變，屏極電壓與電流，兩者變化量的比。用符號所表示的公式如下：

$$屏極電阻 r_p = \frac{\Delta E_b}{\Delta I_b} \text{ (} E_b = \text{定值)}$$

屏極電阻通常都是從屏極特性曲線的直線部分求出。

假定測驗所得的曲線指出當屏極電壓由100伏特變化到150伏特可產生屏極電流變化5毫安。由屏極電阻公式

$$r_p = \frac{\text{屏極電壓的變化量}}{\text{屏極電流的變化量}} \text{ (柵極電壓保持不變)}$$

則 $r_p = \frac{50}{0.005} = 10,000$ 歐姆

所有眞空管的屏極電阻並不相同，三極管的屏極電阻範圍約在2,000至100,000 歐姆間，五極管的屏極電阻較高，可高達1兆歐姆。

【屏極電流】(Plate current ; Anode current)

由電子管內陰極到達屏極，再經過屏路回到電子管陰極的電流，也叫陽極電流。由於電子是帶負電，所以由陰極向屏極移動。因規定電流的方向與電子的移動方向相反，因此，也就是說電流由屏極流向陰極。這種電流叫屏極電流，只向一個方向流動。

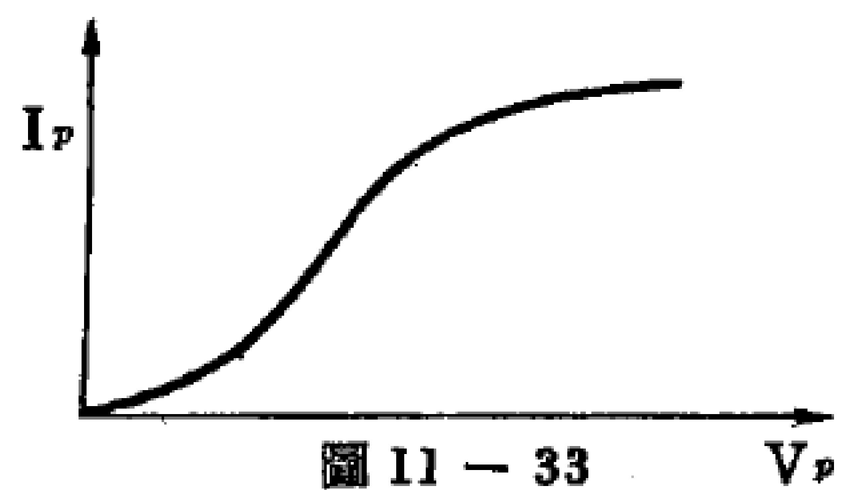


圖 11 — 33
二極管的特性曲線

圖 11 — 33 是二極管的特性曲線，即屏極電流 I_p 與屏極電壓 V_p 的變化圖。

【屏極電容】(Plate capacitance)

指電子管屏陰兩電極對立所形成的電容量。

【屏極電路】(Plate circuit ;Anode circuit)

由電子管陰極與屏極之間的空間區段和接入於屏極與陰極間的外部電路區段所組成的閉合電路。外部電路通常由屏極負荷 Z_a 與屏壓電源所組成。屏極電路中流通著屏極電流的直流分量和交流分量。此一直流分量既流經屏極負荷，也流經屏壓電源。交流分量則不經過屏壓電源，而流經電源分路電容C而閉合起來。有時是在屏極負荷以前將屏流的直流與交流分量分隔開來，爲此，屏極負荷便與高壓電源並聯而接入於屏極和陰極之間。這時，爲了使屏流交流分量不經屏極電源而短路 (電源對於交流通常呈現很小的阻抗) 在屏源電路中接入扼流圈 (扼流圈對屏流交流分量呈現出足夠大的阻抗) 。另一方面，爲了使高壓電源不經屏

極負載而短路（屏極負荷對於直流通常呈現很小的電阻），在屏極負載電路中接入隔直流電容器C。這種電路叫做屏極電源並饋電路。

【屏極電路效率】（Plate circuit efficiency）

屏極電路輸出之交流電力與輸入之直流電力的比值。

【屏極損耗】（Plate consumption）

指電子與屏極撞擊所消耗之電力。

【屏極輸入電力】（Plate input power）

屏極直流電壓與直流電流之積。

【屏極檢波】（Plate detection）

在電子管屏極電路內所進行的檢波。當電子管柵極特性曲線的工作部分對於工作點不對稱時，即當工作點靠近特性曲線的上部彎曲處或下部彎曲處時，便能發生屏極檢波。在進行屏極檢波時，工作點總是選定在靠近特性曲線下部的彎曲處，因爲這時電子管的工作狀態比在上部彎曲處時更有利些（屏極發熱較少，屏壓電源損耗較小，沒有發生柵極電流的危險性）。在特性曲線上部彎曲處附近有時也能發生檢波，這是電子管中的寄生現象（在柵極上的電壓幅度非常大時發生），它可能成爲發生失眞的原因。

只有在柵極輸入電壓足夠大時（好幾個伏特），屏極檢波才是有效的，也就是說處於屏極檢波狀態的電子管是一個不很靈敏的檢波器。

【屏極儲能電路之LC比】（LC ratio of plate tank circuit）

調諧電路對諧振同一頻率，可採用大L小C，或小L大C。但接收機與發射機採用的方式全不相同。接收機普通工作於低壓電源，末級中放信號電壓如有 10 伏特已屬強大，應選用小C大L以爭取較大增益。發射機的射放級則不然，其放大形式常爲“B”類或“C”類，比較“A”類之輸入電力較大，失眞亦較多，擔任負荷的儲能電路，除負起輸送責任外，兼有更正激勵管屏流失眞成分，採用大C小L，目的使負荷

對一切非諧振的諧波削弱。

【屏路檢波】(Anode bend detection)

在屏路上檢出聲頻，是利用電子管的柵壓屏流動特性的彎曲點作整流，再在屏路加入濾波電路，清濾射頻而完成的。

【屏路檢波器】(Plate detector)

在屏路完成檢波任務者。

【屏對屏之阻抗】(Plate-to-plate impedance)

推挽級兩管屏對屏的負荷阻抗。

【屏調制】(Plate modulation)

調制電壓加入含有載波之屏路，或將聲電壓加入振盪器的屏路上。

【屏蔽】(Shielding)

防止射線擴散到周圍環境的保護牆或屏蔽。

【屏蔽庫倫位】(Screened coulomb potential)

假設將點電荷q放入金屬中，並使其靜止不動，則在這點電荷附近的電子密度將起變化，直到由此電子密度的改變而引起的感應電場與點電荷的電場相抵銷時爲止，我們說此點電荷此時被電子氣體所屏蔽。由此屏蔽作用影響，原用以表示點電荷的庫倫位可寫成

$$\phi(\vec{r})=\frac{q}{r}e^{-\lambda r}$$

當距離點電荷稍遠時，此電位急速降低。此電位即稱爲屏蔽庫倫電位，可由帕松方程式(*Poisson's equation*)解得。

【屏輸入電力】(Plate power input)

相當於平均屏流與平均電壓之積。

【屏壓】(Plate voltage ; Anode voltage)

電子管屏極與陰極間的直流電壓，稱爲屏壓 。

【崩潰】(Avalanche)

一群電子在電場中漂移時數目急增的情況。電子數目的增加速率由湯生游離係數 (*Townsend ionization coefficient*) 決定。假如陰極供應固定的電子流，則崩潰將會使一個電子撞到中性原子而出來兩個電子，兩個電子撞出四個，四個撞出八個等，因此電子的數目與至陰極的距離呈指數函數的增加，這種過程一直進行到電子所形成的空間電荷大到足以改變外加電場時爲止。

【帶式傳聲器】(Ribbon microphone)

帶式傳聲器包含一鋁合金的波紋帶，浮懸在一由永久磁鐵的兩極所形成的強磁場中，可隨聲波振動。當聲波使紋帶前後移動時，即割切磁極間的磁力線，而感應電壓，這電壓是非常小的，但可用變壓器使之升高，變壓器通常係密封在微音器內，與傳聲器成一整體。變壓器除了升高電壓外，亦可使傳聲器的輸出阻抗升高，經一條隔離線直接連接至放大器的柵極。如圖 11 — 34 所示。

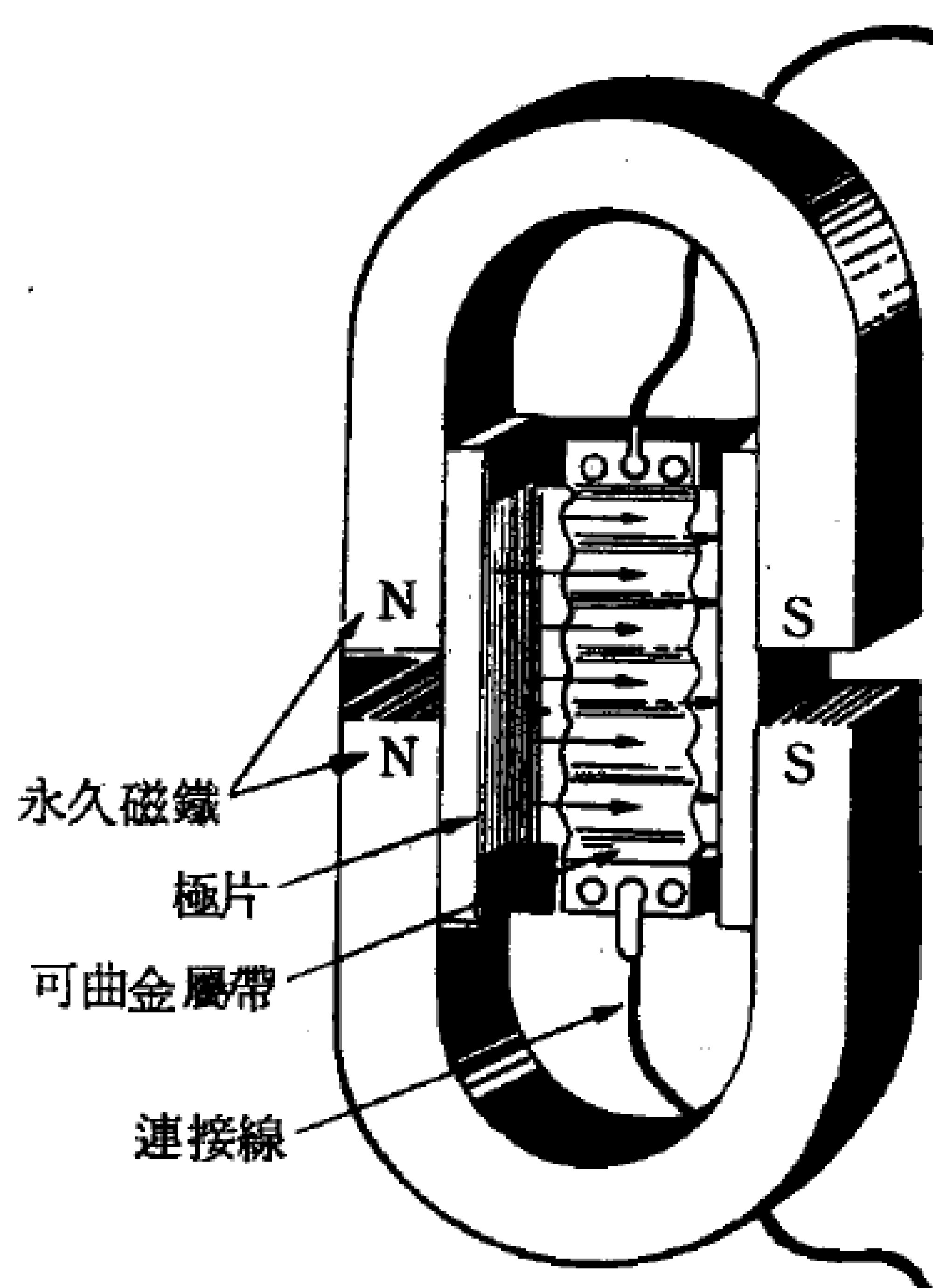


圖 11 — 34　帶式傳聲器的構造

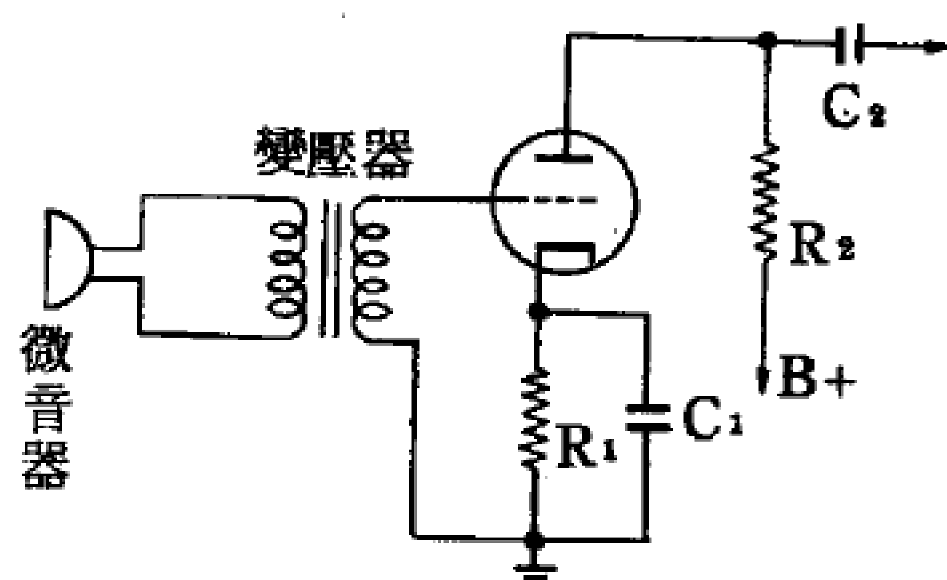


圖 11 — 35　帶式傳聲器的輸出

帶式傳聲器不需薄膜片，紋帶的前後面都可受聲波鼓動，由於紋帶和磁極間有小空隙，空氣經由空隙流入，在紋帶兩邊產生相位差和壓力差，使紋帶移動，紋帶內即感應電壓，這電壓的大小，並非由空氣壓力的大小而決定，而由紋帶和磁極間空氣微粒的速度而決定，所以這種傳聲器又稱速度傳聲器。

帶式傳聲器因爲全視鋁帶移動的速度而決定電壓的大小，所以音波的頻率並不影響其電壓的感應大小程度，所以音頻響應的範圍較廣，可自 30Hz 至 20,000 Hz ，同時無利用膜片振動的傳聲器，振動時有諧波的影響而產生失眞的情形。唯一的缺點是輸出較小，須用變壓器升壓後輸出，如圖 11－35所示，所以傳聲器本身較爲笨重。但是作特殊錄音及商業上需要高度逼眞的音響效果時，一般均仍樂於採用此種傳聲器。

【帶光譜】(**Band spectrum**)

光譜中呈現帶狀者稱帶光譜。其介於線狀光譜(*line spectrum*)與連續光譜(*continuous spectrum*)之間。分子光譜常有此現象。故分子光譜常稱爲帶光譜，此因分子光譜包含一組緊鄰的光譜線而形成帶狀，這些光譜線最初是不易分開的，故稱爲帶光譜以與原子的銳線光譜有別。但目前大部分的分子帶光譜已可以用高分解度光譜儀分離成多個單一光譜線。

【帶電】(**Electrified**)

如摩擦起電，物體帶有電的現象。構成物質的原子是在中間有一些帶有正電的重粒，和一些圍繞這些重粒帶負電的輕粒在旋轉，使原子在電性上呈中性。物體因爲是由很多原子所構成，通常其電性是呈中性。與帶正電的粒子相比，帶負電的粒子非常輕，所以很容易移動，可在物體中移動，也可由一個物體移到另一個物體上去。這種帶負電的粒子稱爲電子。即，帶電表示物體有多餘的電子或缺少電子的意思，帶電又名荷電。

帶電的物體稱爲帶電體，它能吸引很輕微的物體，例如紙屑或燈蕊。

【帶電列】(**Arrangement of electrified body**)

摩擦各種物質，查明各個物質因摩擦而產生的是屬於正電或負電，

並作有系統的排列叫帶電列。在下面所寫出來的帶電列順序中，任何兩個互相摩擦時，位於前面的物質將帶正電，而位於後者帶負電。

又兩種物質在列序中相離愈遠時，因摩擦而生的電愈強。不過，物體表面的情況，因成分之不同，濕度的高低等，都會影響到帶電的情形。

（正）毛皮→水晶→玻璃→羊毛→尼龍→木棉→絹→木材→金屬→硫磺→硬橡膠→*PE* 塑膠→賽璐珞→*PVC* 塑膠（負）

【帶電粒子】（Charged particle）

一種離子。一種帶正電或負電的基本粒子。

參閱“電漿態（*Plasma state*）”條。

【帶電粒子射程】（Range of charged particles）

當帶電粒子通過物質時，因游離作用逐漸失去其能量，而終至停止，在停止前其所行經的距離，稱爲射程（*range*）。同一種類帶電粒子若能量相等，則其射程也大約相等，各射程的平均值，稱爲平均射程（*mean range*），平均值附近的起伏（*fluctuation*），稱之爲歧離（*straggling*）。入射帶電粒子能量愈大，其射程愈長。例如 α 粒子的速度 v 與其射程 R，由實驗得知有下式的關係：

$$R = a v^3$$

式中 a 爲各物質固有的常數。

又帶電粒子在通過物質時，單位路程中所失去的能量，可用下式表之（應用於非相對論性粒子）：

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{4\pi e^4 z^2 Z^N}{m v^2} \log_e \frac{2 m v^2}{I}$$

式中的 E、ze 和 v 各爲入射粒子動能、帶電量和速度，N 和 Z 分別爲物質每立方厘米中的原子數和原子序數，e 和 m 分別爲電子的電荷和質量，I 爲游離電位。表示各種物質遏阻帶電粒子通過物質之程度，稱爲

阻止本領（*stopping power*）。

【帶電體】（Electrified body；Charged body）

指帶電的物體。通常，不同種類的兩種物體摩擦時，一邊帶正，另一邊帶負而各成帶電體，其正負的電量相等。摩擦以外的方法，也可以使物體帶電。

【帶譜中之P支、Q支及R支】（P-branch，Q-branch and R-branch in band spectrum）

分子的帶光譜在電子振動躍遷時，分子轉動狀態可隨之改變。在這類躍遷中，轉動狀態的選擇定則一般爲$\triangle J=0$，± 1。凡$\triangle J=-1$的譜線稱爲P支帶譜，$\triangle J=0$爲Q支，而$\triangle J=+1$者爲R支。

例如在雙原子分子中，初態（轉動量子數J）的轉動常數爲Bo，終態（轉動量子數J'）的轉動常數爲Be，則其躍遷能量爲

$$\triangle E=(Ee-Eo)+BeJ'(J'+1)-BeJ(J+1)$$

因此 $$\triangle E=(Ee-Eo)-(Bo+Be)J+(Bo+Be)J^2$$

$$(\triangle J=-1,\ P\text{支})$$

$$=(Ee-Eo)-(Bo-Be)J-(Bo-Be)J^2$$

$$(\triangle J=0,\ Q\text{支})$$

$$=(Ee-Eo)+2Be-(Bo-3Be)J-(Bo-Be)J^2$$

$$(\triangle J=+1,\ R\text{支})$$

【常用對數】（Common logarithm）

即以10爲底的對數稱爲常用對數。

$$log_{10}x=0.43429\times log_e x$$

【常衡制】（Avoirdupois）

英美兩國的衡制，此制以16兩爲一磅，美常噸合2,000磅。英常噸合2,240磅。

【康卜頓】（Arthur Holly Compton 1892—1962）

1892 年九月十日生於美國俄亥俄州烏斯特（*Wooster*），1913 年獲得烏斯特學院學士，1916 年得普林斯頓大學博士。1919 年赴劍橋大學研究一年，回美任密蘇里州聖路易城華盛頓大學物理學系主任，1923 年任芝加哥大學教授，1946 年返華大任校長。對地球轉動、固體的比熱及 *X* 射線有深刻的研究。1923 年發現康卜頓效應，即 *X* 射線被電子散射後波長增加，此效應必須用光本性是粒子而不是波才能解釋。1927 年獲諾貝爾物理學獎，1962 年三月十五日以腦溢血逝於加州貝克萊。

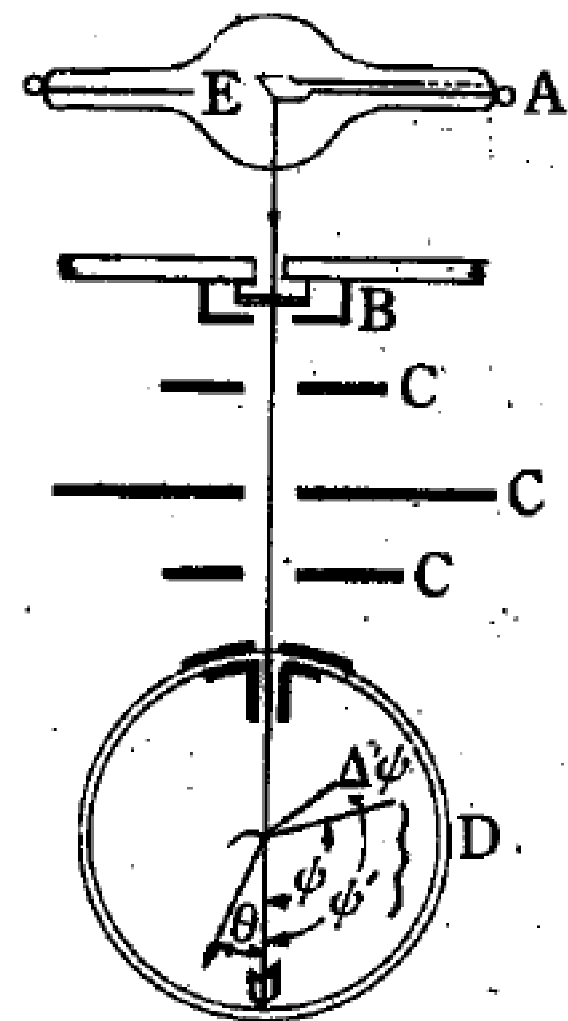
【康卜頓、西蒙實驗】（Compton-Simon experiment）

康卜頓（*Compton*）爲了使他的理論更加穩固起見，曾和西蒙（*Simon*）共同進行一項實驗。當 *X* 射線撞擊電子使電子反跳時，*X* 射線本身的進行方向也會改變。不幸的是，*X* 射線不會像電子那樣在雲室中留下一道可以用肉眼看得到的軌跡。因此我們無法辨認散射 *X* 射線的運動方向。但在某些情形之下，被散射的 *X* 射線光子離開雲室之前，可能產生另一次康卜頓效應。觀測這些連續的康卜頓效應，將有助於推斷散射 *X* 射線的運動方向。也就是說：

1. 從反跳電子的軌跡長度計算它的速度。

2. 由反跳電子開始運動時軌道的切線方向，估計它的運動方向。

3. 從第一次康卜頓效應和第二次康卜頓效應的相對位置，估計散射 *X* 射線的方向。



A X射線管
B 濾板
C 鉛屏
D 雲室

圖 11 — 36
康卜頓、西蒙實驗中，第一次和第二次反跳電子的軌跡關係圖

關於連續康卜頓效應的實驗裝置如圖 11 — 36 所示。圖中兩條波形曲線代表兩反跳電子的軌跡。從靠近圓心的軌跡起點可以看出，第一次

反跳電子是沿與入射X射線成θ角的方向拋射出來的。由第二次康卜頓效應與第一次康卜頓效應間的相對位置，可以測得散射角φ。圖中的二次康卜頓散射角φ'是由估計而來的。φ與φ'雖稍有差別，但其差$\Delta\varphi$係在實驗誤差的範圍之內，故可認爲十分符合。

從上述X射線和電子碰撞時的行徑（與撞球桌上彈子球的碰撞情形極爲相似）上可以看出，X射線之具有微粒性質是不容置疑的。

【康卜頓吸收】（Compton absorption）

謂在康卜頓效應中X光或γ光的吸收。

【康卜頓波長】（Compton wavelength）

h/m_0c被稱爲康卜頓波長，其中h爲浦朗克常數，m_0爲電子靜止質量，c爲光速。

參閱"康卜頓效應（*Compton effect*）"條。

【康卜頓效應】（Compton effect）

在研究物質受X射線照射的散射實驗時，發現到雖然入射線只有一種波長λ，但散射的X射線卻在二波長處有強度高峯；一峯與λ射線波長相同，另一峯的波長λ'則比前者要長。1923年康卜頓（*A.H. Compton*）首先對此觀察結果提出解釋，並經實驗量度，證實構想正確；因而此效應被稱爲康卜頓效應。此散射過程的特色是康卜頓大膽的將能量與動量守恆律同時應用於光量子與電子間的碰撞。

圖11—37爲康卜頓實驗裝置。波長爲λ的單色X射線照射在散射體上，測定散射於任一選定角度ϕ之X射線的波長強度分佈，結果如圖11—38所示。左邊垂直實線對應於入射波長λ，右邊對應於散射線的波長λ'，圖示四種不同散射角ϕ的結果。當$\phi = 90°$時，康卜頓移動（*Compton shift*）$\lambda - \lambda'$爲$\frac{h}{m_0c} = 0.0243\,\text{Å}$，式中$h$爲浦朗克常數，$m_0$爲電子的靜止質量，$c$爲光速。

若視入射X射線爲電磁波，則無法解釋此種波長之移動，因固定

頻率的入射波將使散射體中的電子以相同頻率振盪，這些振盪的電子就像小無線電的發射天線中來回振動的電荷，而將放射相同頻率的電磁波，因此根據此種波動理論，散射波應與入射波有相同的頻率 ν 和波長 λ 。

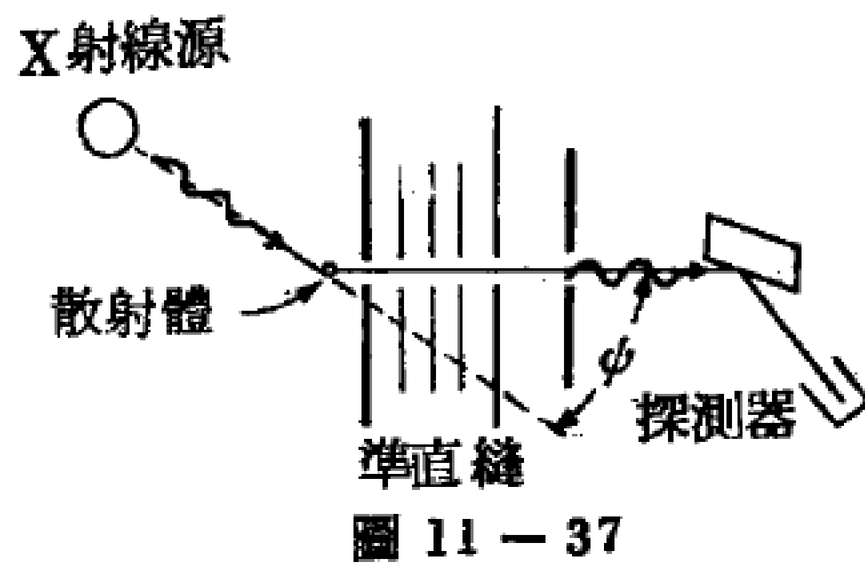


圖 11 — 37

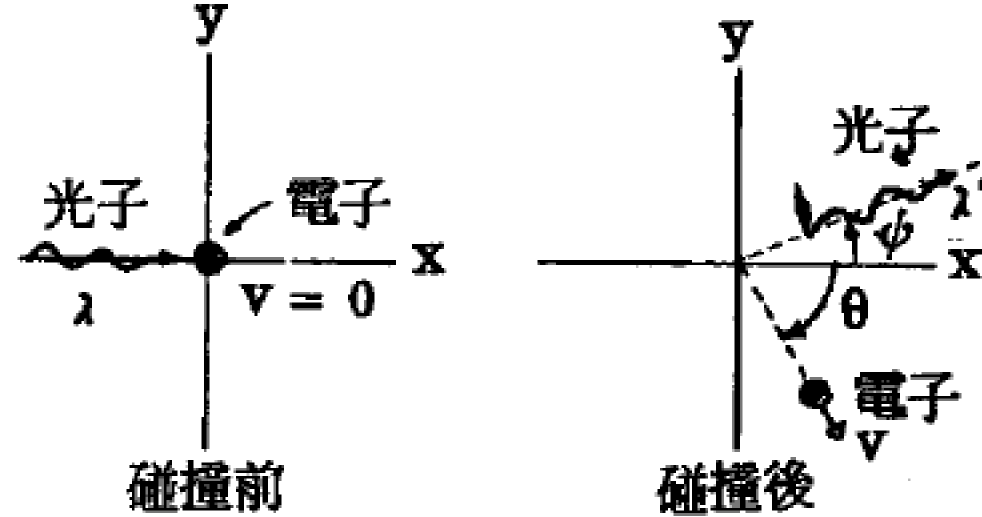


圖 11 — 38

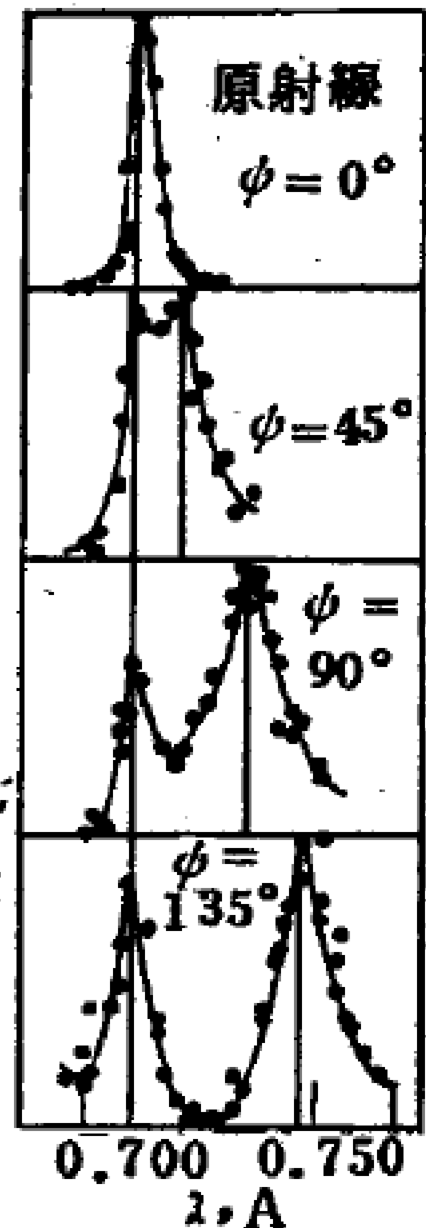


圖 11 — 39

康卜頓假設入射 X 射線不是波而是一群能量爲 E ($= h\nu$) 的光子，此等光子與散射體中的電子互相碰撞，“反彈”的光子自散射體中竄出，即構成散射的輻射光。因入射光子於碰撞時已將部分能量傳給相碰的電子，散射的光子便只有較低的剩餘能量 E'，因此應有較低的頻率 ν' ($= \frac{E'}{h}$)，意即有較長的波長 λ' ($= c/\nu'$)，這些假定可以圓滿地解釋波長移動 $\Delta\lambda$ 。

康卜頓的理論分析如圖 11 — 38所示。散射體中的電子原爲靜止，且未束縛於散射體的原子中，波長爲 λ 的光子朝 x 方向與電子碰撞。應用能量守恆原理於此碰撞，因反彈電子的速率 v 接近光速，故電子的動能必須以相對論表示。即

$$h\nu = h\nu' + (m - m_0)\, c^2$$

式中右端第二項爲反彈電子動能的相對論表示法，$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ 爲粒子的相對論質量。$h\nu$ 及 $h\nu'$ 分別爲光子碰撞前後的能量。

應用線動量守恆原理，x 方向的線動量應守恆，故

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c}\cos\phi + mv\cos\theta$$

y 方向動量守恆得

$$0=\frac{h\nu'}{c}\sin\phi - mv\ \sin\theta$$

以 $\nu=c/\lambda$，（$\nu'=c/\lambda'$），代入上三式，消去 v 及 θ 後得

$$\Delta\lambda\ (=\lambda'-\lambda)=\frac{h}{m_0 c}(1-\cos\phi)$$

$\Delta\lambda$稱爲康卜頓移動，其移動大小僅與散射角 ϕ 有關，並不涉及原波長 λ。當 $\phi=180°$ 時，波長變化量最大，等於 $2h/m_0c$。而 h/m_0c 被稱爲康卜頓波長，等於0.02426 Å 。

圖 11—39中波長未變的尖峯乃由光子與散射體中仍受離子核心束縛之諸電子間的碰撞所造成。這種碰撞，因散射體的有效質量大，故 $\Delta\lambda$ 小至無法測定，顯示似未曾移動。

康卜頓效應通常被認爲是光量子存在的一件實證。

【康卜頓電子】（Compton electron）

在康卜頓效應中與光子作用的電子。

【康銅】（Constantan）

由銅、鎳、錳所熔成的合金，具有很大的電阻率（截面積爲1平方毫米時，每1米長的電阻爲0.5歐姆）和很小的電阻溫度係數。其用途是製造電阻箱內的電阻。

【張力】（Tension）

使物體如弦線或棒桿等伸長的力。使棒伸長時在棒的兩端施以拉力，即成張力。棒截面上單位面積所受的張力稱爲張應力（*tensional stress*）。

【張伯倫】（Owen Chamberlain 1920- ）

美國物理學家。1920 年七月十日生於舊金山，1949 年芝加哥大學博士，加州大學柏克萊校區教授。爲第二次世界大戰期中曼哈頓計劃

人員之一。因發現反質子與沙格雷（*E.G.Segré*）同獲1959年諾貝爾物理學獎。張伯倫現爲美國國家科學院院士。

【張量】（Tensor）

張量是n維空間內，有n^r個分量的一種量，其中每個分量都是坐標的函數，而在坐標變換時，這些分量也依照某些規則作線性變換。r稱爲該張量的階，第零階張量（$r=0$）即純量，第一階張量則是向量。

用張量列式時，常照愛因斯坦規則表示。在一個求和式中，只寫出通項，而以重複出現的下誌（*subscript*）或上誌（*superscript*）表示該式代表何種和，例如在三維空間中

$$a_{ij}u_i = \sum_{i=1}^{3} a_{ij}u_i = a_{1j}u_1 + a_{2j}u_2 + a_{3j}u_3$$

因爲i重複，所以左端表示就i自1至3求和，若在n維空間，則

$$a_{ij}u_i = \sum_{i=1}^{n} a_{ij}u_i$$

由於變換方式的不同，張量分爲協變、反變、混合三類。

【張量力】（Tensor force）

一種中子與質子之間的非中心力。

【張量橢球】（Tensor ellipsoid）

將對稱張量

$$T = \begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{pmatrix} \qquad \begin{aligned} T_{yz} &= T_{zy} \\ T_{zx} &= T_{xz} \\ T_{xy} &= T_{yx} \end{aligned}$$

的元素作爲係數的有心二次曲面Q：

$$T_{xx}x^2 + T_{yy}y^2 + T_{zz}z^2 + 2T_{yz}yz + 2T_{zx}zx + 2T_{xy}xy = c$$

稱爲T的張量橢球。若將其主軸方向選擇爲坐標軸ξ,η,ζ，則Q變成

$$T_1\xi^2+T_2\eta^2+T_3\zeta^2=c$$

T 變成對角方陣

$$T=\begin{pmatrix} T_1 & 0 & 0 \\ 0 & T_2 & 0 \\ 0 & 0 & T_3 \end{pmatrix}$$

T_1，T_2，T_3 稱爲張量T的主值，張量橢球的主軸方向稱爲張量的主方向。若主值不全爲同符號，則Q不成爲橢球，此時Q稱爲張量二次曲面。

設一剛體的慣性矩爲J_x，J_y，J_z，慣性積爲P_x，P_y，P_z，則二次曲面 $J_x x^2+J_y y^2+J_z z^2-2P_xyz-2P_yzx-2P_zxy=1$ 爲

$$T=\begin{pmatrix} J_x & P_z & P_y \\ P_z & J_y & P_x \\ P_y & P_x & J_z \end{pmatrix}$$

的張量橢球，這橢球稱爲慣性橢球。

【強力柵檢波器】(Power grid detector)

應付強信號輸入的柵極檢波器。

【強交互作用】(Strong interaction)

核力的交互作用，稱爲強交互作用。通常不能用一個簡單的位能函數來表示，由於量子場論與粒子物理的發展我們知道核力的主要部分是粒子間交換π介子的結果。

物理上，除強交互作用外，另有一稱爲弱交互作用(*weak interaction*)，強交互作用爲核力的來源，而弱交互作用則表現於大多數衰變(*decay*)的過程。這兩種交互作用的強弱爲：弱交互作用的常數約爲10^{-14}，而強交互作用的常數約爲1～15。

【強交互作用力】(Strong interaction force)

強交互作用力是最具威力的基本力，組成原子核的基本粒子就是靠它才能緊密地結合在一起。強交互作用力也可能是決定這些基本粒子的性質和體積的重要因素（科學家還沒有能完全了解這一點）。

【強度級】（ Intensity level ）

一個波的強度（ *intensity* ）之定義是在每單位時間內經過垂直於傳播方向的每單位面積的能量，單位爲瓦特／米^2。但是也可以用另一個稱爲分貝（ *decibel* ）的單位來表示，聲音（或任何波動）之強度級以 B 表示，其單位爲分貝，簡寫爲 db ，根據定義爲

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

式中 I_0 爲參考強度。對空氣中之聲音而論，參考強度 I_0 是任意選定的，其值爲 10^{-12} 瓦特米$^{-2}$；例如，對頻率爲400赫茲之可聽的最弱聲音而言，其所對應之強度爲 7.2×10^{-12} 瓦特米$^{-2}$，而其強度級爲 8.57 db 。

【強度指示器】（ Volume indicator ）

即響度指示器。

【強迫振盪】（ Forced oscillation ）

使振盪質點有一定的位移和速度，隨即放開而不再加外力，讓質點靠振盪器的恢復彈力振盪。但是不可避免的阻滯力，使這個振盪沒法無休止的延續下去。爲了使振盪現象能繼續進行，我們就必須不斷的給予外力。這種因外力的不斷作用，而持續振盪的現象，稱爲強迫或驅使振盪。最常見的強迫振盪是電磁波經由天線使收音機或電視機的振盪線路起強迫電振盪，而產生我們所收到的廣播。

通常所施的外力，是有週期性變化的振盪力，即可以寫成 $F = F_0 \cos \omega t$ 的形式，ω 代表驅使振盪力的角頻率。加上彈力 $-kx$ 和阻滯力 $-\lambda \dot{x}$ ，強迫振盪的運動方程式爲

$$m\ddot{x}=F_0\cos\omega t-kx-\lambda\dot{x}$$

設$\tau=\frac{m}{\lambda}$，$\omega_0=\sqrt{\frac{k}{m}}$，則上式可表成

$$\ddot{x}+\frac{1}{\tau}\dot{x}+\omega_0{}^2x=\frac{F_0}{m}\cos\omega t \qquad (1)$$

由這個二次線型微分方程式，我們可知，當一振盪系統爲一頻率和本身的自然頻率不同即$\omega\neq\omega_0$的外力所驅使時，它不會再以ω_0的頻率來振盪，而會用和驅使力相同的頻率振盪。如果驅使力突然中斷，振盪器就會以一般的阻滯振盪頻率作阻滯振盪，但是這種振盪方式很快就會消失的。在驅使力繼續不斷的作用下，這個瞬時的效應不會存在多久。到振盪器達到平穩的狀態以後，它就會有和驅使力一樣頻率的驅使振盪。因爲，驅使力和強迫振盪的頻率若不同，它們之間的相對相位會不斷地改變，這就得不到平穩的狀態了。假定平穩狀態解的形式爲

$$x=x_0\sin(\omega t-\alpha) \qquad (2)$$

式中的ω等於驅使力的頻率，振幅x_0和起始相位$-\alpha$並不是任意常數。它們的數值要從滿足微分方程式（1）式所需的條件來決定。

將（2）式對t求兩次導數

$$\dot{x}=\omega x_0\cos(\omega t-\alpha) \qquad \ddot{x}=-\omega^2x_0\sin(\omega t-\alpha)$$

然後代入(1)式，利用三角恆等式展開，化簡，即可得

$$\left[(\omega_0{}^2-\omega^2)x_0\cos\alpha+\frac{1}{\tau}\omega x_0\sin\alpha\right]\sin\omega t+\left[(\omega^2-\omega_0{}^2)x_0\sin\alpha+\frac{1}{\tau}\omega x_0\cos\alpha\right]\cos\omega t=\frac{F_0}{m}\cos\omega t$$

使這個方程式對所有的t都能滿足的條件是$\sin\omega t$和$\cos\omega t$的係數同時爲零。要使$\sin\omega t$的係數等於零，相位差α應爲

$$\tan\alpha=\frac{\omega^2-\omega_0{}^2}{\omega/\tau} \qquad (3)$$

$\cos\omega t$ 的係數等於零，強迫振盪的振幅將為

$$x_0=\frac{F_0/m}{(\omega^2-\omega_0{}^2)\sin\alpha+\frac{\omega}{\tau}\cos\alpha}$$

或利用（3）式導得的關係

$$\sin\alpha=\frac{\omega^2-\omega_0{}^2}{\sqrt{(\omega^2-\omega_0{}^2)^2+(\frac{\omega}{\tau})^2}}\qquad \cos\alpha=\frac{\omega/\tau}{\sqrt{(\omega^2-\omega_0{}^2)^2+(\frac{\omega}{\tau})^2}}$$

消去 α，而寫成

$$x_0=\frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2-\omega_0{}^2)^2+(\frac{\omega}{\tau})^2}}\qquad(4)$$

所以說強迫振盪的位移有(2)式之形式，其中的 x_0 和 α 分別為(4)式和(3)式所示的值。振幅 x_0 等於常數，表示平穩狀態下的強迫振盪，不受阻滯力的影響。換言之，驅使力克服了阻滯力，供給振盪所需的能量。

通常在強迫振盪的問題中，速度所佔的地位比位移還來得重要。因此，我們也想知道速度的時間函數。將（2）式對 t 作一次導數得

$$v=\omega x_0\cos(\omega t-\alpha)$$

或寫成

$$v=v_0\cos(\omega t-\alpha)\qquad(5)$$

其中速度振幅

$$v_0=\frac{\omega F_0/m}{\sqrt{(\omega^2-\omega_0{}^2)^2+(\omega/\tau)^2}}$$

$$=\frac{F_0}{\sqrt{(m\omega-k/\omega^2)+\lambda^2}}$$

在（5）式裏，可看出質點的速度比驅使力落後了 α 的相位（假定 $0<\alpha<\pi$）。

從複數平面上的旋轉向量（實際上是相量）$\vec{F}_0$ 和 $\vec{V}_0$ 可以看出振盪速度和驅使力間的關係。它們在實數軸 X 上的分量就是驅使力和速度在那一瞬間的數值。$0<\alpha<\pi$ 時（如圖 11—40 所示），$\vec{V}_0$ 向量比 $\vec{F}_0$ 向

量落後；反之，$-\pi<\alpha<0$時，$\vec{V}_0$比$\vec{F}_0$超前。

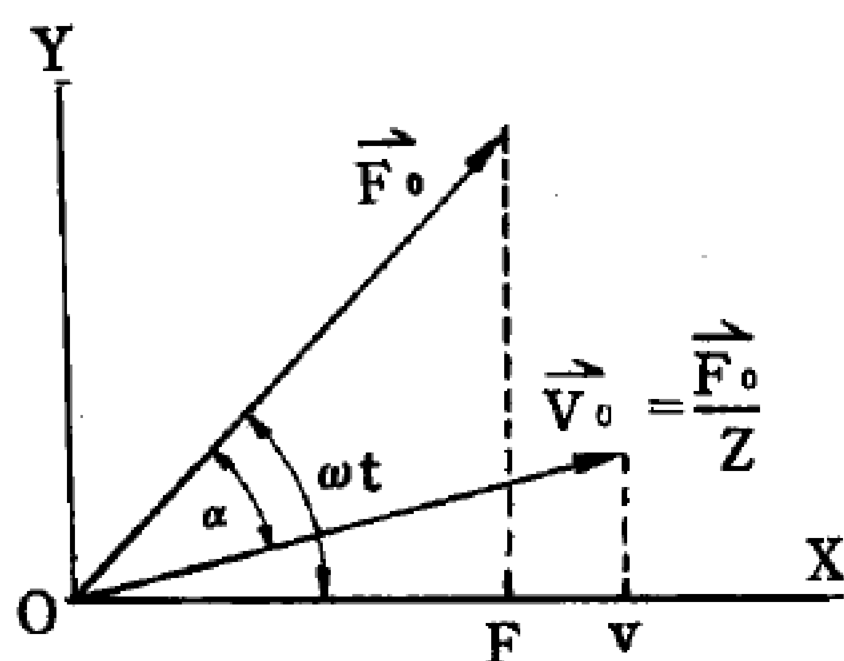


圖 11 — 40
驅使力與速度旋轉向量間的相位關係

低頻率極限$\omega\ll\omega_0$，驅使力的頻率比振盪器的自然頻率小很多時，（3）式告訴我們

$$\alpha\to-\frac{\pi}{2}$$

因此，從（2）式和（5）式，我們發現，此時位移和驅使力同相，但速度比驅使力超前了$\frac{\pi}{2}$的相位。又從（4）式

$$x_0\to\frac{F_0}{m}\ \frac{1}{\omega_0{}^2}=\frac{F_0}{k}$$

這是說，在低頻率的極限時，彈力控制著振盪的位移。

高頻率極限$\omega\gg\omega_0$，驅使力的頻率比振盪器的自然頻率大很多時，（3）式告訴我們

$$\alpha\to\frac{\pi}{2}$$

因此，位移$x=x_0 sin(\omega t-\frac{\pi}{2})=x_0\ cos\ (\ \omega t-\pi\ )$，比驅使力落後$\pi$的相位，而速度比驅使力落後$\pi$／2的相位。又

$$x_0\to\frac{F_0}{m\ \omega^2}$$

在高頻率的極限，位移的振幅隨$\frac{1}{\omega^2}$而減小。慣性質量m控制著振盪的位移。

在強迫振盪中最值得注意的現象便是共振，此時振盪器的位移振幅達到極大值，稱爲振幅共振。

物理學的各個部門幾乎都有共振的現象。一個物理系統只要受到週期變化的外力，都可能產生共振。例如，放置在振盪電場（如電磁波）內的氣體分子中的原子，因電場的驅使作用而產生強迫振盪。當電場的頻率等於分子的自然振盪頻率時，能量的吸收就會達到極大值，造成共

振。又如大家所熟悉的收音機選擇波段。各電臺所發出的無線電波，隨時都在使檢收線路起強迫振盪。但每一收音波段的檢收線路都有它本身的自然振盪頻率（通常是由可變電容器來控制的）。當線路的自然振盪頻率調到和某一個電臺的發射頻率一樣時，能量共振使我們只聽到這個電臺的廣播，這就達到了選擇波段的目的。但是，如果兩個電臺的發射頻率太接近，或收音機的靈敏度不夠時，即當發射頻率差 $\Delta\omega < (\Delta\omega)_{\frac{1}{2}}$ 時，檢波線路和這兩種電磁波同時起共振，因而干擾不清。

參閱“振幅共振（*Amplitude resonance*）”條。

【強迫對流】（Forced convection）

若一氣體或液體的流動，在某處吸收熱量後流動到別處，與該流體的較冷部分混合並放出熱，就叫做對流（*convection current*）。若對流是因爲由溫度差所引起的密度差而運動，我們就稱之爲自然對流（*natural convection*）。但若由於喞筒或扇片的作用而使流體運動，則稱之爲強迫對流。

【強訊檢波】（Power detection）

線性檢波電路之一，即能把握較強之信號輸入而不致失眞者。

【強訊檢波器】（Power detector）

檢波級之前已有足量放大然後輸入檢波器者。

【彗形像差】（Coma）

這是面鏡或透鏡的一種像差，不在光軸上之點所成的像呈彗星狀。由物點發出的光經透鏡中心區 z_A（圖 11－41）所成像是點 A，經 z_B 及 z_M 區所成的像爲 A 點上的環形圈。B 到 M 的圓半徑由小漸大；這些半徑逐漸變化的圓重疊起來就成爲彗形圖。

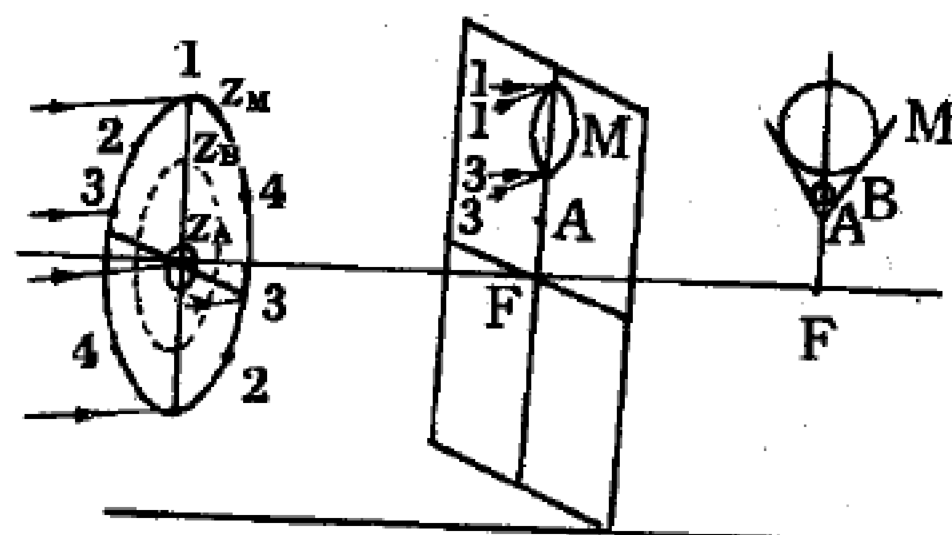


圖 11－41

【彗星】（Comet）

天空的星星很多，可以說是無邊無際。至於彗星，它簡直算不上一顆星。嚴格地說，它只是星際物質結合而形成的。所以它在開始出現時，是一種似霧的光點在天空中閃動，要經過幾天，我們在夜空看上去，才好像是一顆明亮的星，但外面似乎還罩著一層薄雲。這顆星很快的增亮，以高速度向著太陽疾進，再過了幾天，這顆星又顯出了一種新的景象，在它後面出現了很長的一條光尾，好像一把掃帚，故彗星俗稱掃帚星，這條掃帚似的尾巴，有時長達幾萬公里。



圖11－42
彗星和地球積量的比較（彗星積量僅就它頭部最亮的部分來計算）。

彗星繞著太陽，後又背著太陽疾行而去，離太陽越遠，彗星的光度也越小，它的光尾在天空漸漸消失，隔了一段很短的時間，彗星又變成了沒人注意的雲霧般的光點。古人重視彗星，以為其出現乃不祥之兆，或主兵災，或主荒年；其實彗星為一通常星體，與人事吉凶毫無關係。

由天文的觀察發現，彗星並非是整個的堅實天體，平常的星可以在彗星的雲霧似的物質中通過，但如果說它是一團氣體或者微小的塵埃，卻又不能維持得這麼長久，因此，彗星可以說是一些微粒的物質緊聚在一起構成的，這種微粒相當大，大概是一厘米或者還要大些。由分光儀的研究，知道彗星是由固體和氣體所合成。彗星光譜中顯示氫、碳化氫、氧化碳等的光線。極近太陽的時候，呈連續光譜。彗星顏色以白色和銀灰色為主。彗星又有分裂為二三個，有時破裂為流星群；彗星和流星群之間，有密切的關係。在彗星裏還可能有長達幾百米的塵埃之碎片。

彗星的組織可分三部：即彗髮（*coma*）、彗核（*nucleus*）、彗尾（*tail*）三者。

(1)彗髮——彗髮為星雲狀的組織，形狀大多為圓形，亦有為橢圓形的，

近太陽時則縮，遠太陽時則脹。其直徑的變動，有自 1,600,000 公里縮至 16,000 公里者，此因彗髮近太陽時，受熱體脹，彗髮外部變成稀薄，太陽光得以透過，故居地球上視之，其體似縮小，實則是脹大。

(2)彗核——彗髮中心有核，光明如辰星，稱爲彗核。通常每彗星有一核，亦有二三核的，間或亦有無核的。核的變化無常，大小不一，直徑最小者在 160公里以下，間亦有60公里左右者；最大可達 13,000 多公里。



圖 11 — 43　1744 年三月七日的奇形彗星

(3)彗尾——彗髮背後拖著長尾，如煤煙隨火車而行，稱爲彗尾。彗星在太陽附近運行時，彗尾常向太陽反對的一方。彗尾的形狀亦變化無常。彗星愈近太陽時，彗尾愈脹大，遠離太陽時，彗尾又縮小。尾的前部寬自數千以至數萬公里，後部寬自數萬以至數十萬公里。尾的長度，多達 8,000,000 至 16,000,000 公里，最長的有160,000,000公里。尾的形狀不一，有長而直的輻射線形，有彎曲如羽毛狀，亦有短而曲的。彗星亦可有兩尾或數個尾的。

當彗星接近太陽時，彗核受太陽的光熱，將物質外射，此種物質受太陽輻射壓力，壓向後方，而擴大成尾。組成彗星的物質，不斷向空中擴散，故尾的形狀，時刻改變。彗星距太陽很遠時，彗核停止噴射，彗尾完全消失，此時彗星成爲圓餅形；又因其不能自身發光，係反射太陽而明亮，故其距太陽愈遠時愈暗，終至不能辨識其存在。

歷年來所發現的彗星數，約有 800 個以上；在望遠鏡未發明前，憑肉眼可見的，已達 400 個。自發明望遠鏡以來，被發現的彗星數目，年

年增加。自 1880 年以來，平均每年發現5個以上的彗星，在1925年，共發現11 個，爲發現彗星最多的一年。

彗星是太陽系家族裏的遊子。其質量較小行星爲輕，不超過 10^{21}克（約爲地球的千萬分之一），有名的哈雷彗星（*Halley's comet*），質量 3×10^{19}克而已。彗星體積雖大，但質量極小，因此其密度甚小。至於彗尾，是因爲彗星行近太陽，受太陽的輻射壓力推激而出，密度更低，較之實驗室的眞空管恐尤過之。如1861 年的大彗星以及1910 年的哈雷彗星，它們的尾部，都曾通過地球，但地球上未發生任何影響，由此可知彗尾密度之小。其實，地球和彗星的碰撞亦有許多次了，其所以沒有發生不幸，除彗星密度小外，地球的周圍的大氣層能夠防止彗星和有害氣體的侵入，亦是原因之一。


圖 11 — 44　1910年一月的彗星

據科學家證明，彗星也和一般行星一樣，受太陽的引力，環繞著太陽旋轉，每隔一定的時間繞近太陽一次。

據觀測結果的統計，彗星軌道多數爲拋物線，約有 77 %；次爲橢圓，最少的是雙曲線。運行於拋物線或雙曲線軌道上的彗星，只到太陽附近一次，一旦離去，永不歸來，此種彗星不屬於太陽系中的星體。橢圓運動的彗星，和普通行星一樣，繞太陽循環運動，有一定的週期，這種彗星是屬於太陽系的星體。

彗星環繞太陽的週期是各不相同的，像很小的安克彗星，它的週期還沒有超過三年，但有些彗星的週期卻不止一千年。現代天文學家對各種彗星的軌道，都已有很周密的研究，什麼彗星將在天空什麼地方出現

，都能夠預知。

彗星依其週期的長短可分爲兩類，短週期的軌道離心率（在0.2～0.9）比長週期的爲小。如下表所示，爲兩類彗星各種性質的比較。第一類彗星約有40 個運動方向，和各行星相同。其遠日點爲接近於木星軌道。在已發現的彗星中，軌道是橢圓而週期短於200年的有100多個。

	第一類	第二類
週期	平均週期 7 年	平均週期 10^6 年
離心率	0.2～0.9	約0.99999
軌道面	接近黃道	不定
運動	直接	不定
小分類	屬木星類	

彗星因質量甚輕，故當走到大行星附近，常常受擷動作用，變更它的軌道；按它們軌道遠日點的距離，概分爲木星族、土星族、天王星族以及海王星族等彗星；這叫做彗星族（*family of comets*）。



圖 11 — 45
1874年七月十四日的奇形彗星

【彩色值】（Chromaticity value）

電視臺發射之信號是代表彩色者。

【彩色發射】（Color transmission）

信號波包括畫面之亮度及彩色者稱爲彩色發射。

【彩色電視】（Color television）

發送和接收具有天然色之活動影像的電視稱爲彩色電視。彩色電視的主要原理與黑白電視相同，但影像分解成若干顏色不同的單獨部分，各部分單獨的發送，並以相應的顏色重現出來。實際的電路非常複雜，在此僅能稍加略述。在發射機方面，實物由三個電視攝像機所攝取，每一攝像機均配有一個不同彩色的濾光鏡，以得到某一特定的彩色。此三種彩色爲紅、綠、藍，其他各色可由此三色的適當配合而得。每一電視攝像機的彩色信號輸出均與其他兩個基本信號合成後，以標準的 6 兆赫寬度的頻道送出。兩基本信號之一爲明晰信號（ *luminance signal* ），此信號只具有圖像亮度的變化，與黑白電視的視頻信號相同。一常用的黑白電視接收機可接收此明晰信號，但其圖像爲單色的（黑白影像）。

另一信號則稱爲彩色信號（ *chrominance signal* ），其具有使彩色圖像重現的彩色信息。在彩色電視接收機，由彩色信號與明晰信號的結合而得紅、綠、藍三種視頻信號。由於 6 兆赫頻帶寬太窄，以及彩色電視信號需適用於黑白電視機的接收，所以關於明晰信號與彩色信號的傳輸，以及重新結合的程序，非常複雜。已經被放大的紅、綠、藍三種彩色視頻信號，送至三色收像管（ *tricolor picture tube* ），就可獲得彩色圖像。三色收像管，具有三個分開的電子槍，每一電子槍專門用於一種色。各電子槍所射出電子束的角度略有不同，因此能通過各自在陰蔽罩（ *shadow mask* ）上的小孔，然後打在同一屏幕上各自的磷光質小點上，磷光質的小點就呈現出各電子束所代表的色，三幅獨立的單色影像混合起來，便成一幅彩色的圖畫。現在已有一種稱爲彩色攝像管（ *chromatron* ）的單電子槍攝像管在發展中，在未來可能將取代三色攝像管的地位。

【彩色錯亂】（ Chromatic aberrations ）

電視接收機畫像的瑕疵是得自電子離開陰極時啓動速度變化所致，

稱爲彩色錯亂。

【彩虹】(Rainbow)

日光在空氣中含很多水氣時，作折射→全反射→折射的結果，就會色散如同經過稜鏡時的現象，分爲七色懸掛在天空。

通常的彩虹是一定背著太陽時出現，自半圓的外側依次排列爲紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫。不過，有時在常看到的彩虹外側，還可以看到另一道較淡的彩虹的景象。其色彩的排列次序則恰與上述的相反，此即稱爲霓。

【彩層】(Chromosphere)

圍繞太陽光球的大氣中低層的部分。溫度在 5,000° C以下，厚約有 10,000 公里。它是很淡薄的氣層，光也比較弱，在日全蝕時，看起來紅紅的。

【得耳他函數】(Delta function)

此函數爲狄悅克 (*Dirac*) 所創，定義如下：

$$\delta(x) = 0 \text{ ，當 } x \neq 0 \text{ 時}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x)\,dx = 1$$

在數學上，δ 函數不能以古典的函數論歸納，它並不是正常的函數，必須用分佈或一般化函數的理論才能包括。δ 函數的特殊重要性質是

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\,\delta(x)\,dx = f(0)$$

或

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\,\delta(x-a)\,dx = f(a)$$

上二式表示當 δ 函數作爲積分式內的被積函數之一時，其意義才能確定，此類函數的定義稱爲弱收斂性。δ 函數的其他重要性質有

$$\delta(x) = \delta(-x)$$

$$\delta'(-x) = -\delta'(x)$$

$$x\delta(x)=0$$

$$\delta(ax)=\frac{1}{a}\delta(x) \qquad (a>0)$$

$$x\delta'(x)=-\delta(x)$$

$$\delta(x^2-a^2)=(2a)^{-1}[\delta(x-a)+\delta(x+a)] \quad (a>0)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta[g(x)]dx=\frac{f(x_0)}{|g'(x_0)|}$$

$$g(x_0)=0$$

$$g'(x_0)\neq 0$$

以上各式，均可用試驗函數$f(x)$，乘在各式兩邊，積分後可證明各式兩端相等。

【徙動】(Migration)

如離子的遷移。

【控制柵極】(Control grid)

控制柵卽三極管的柵極，距陰極較距屏極爲近，所以如有電壓加於柵極上，對於屏極與陰極間靜電場的影響很大，當然對於屏極電流的影響也很大。因此柵極對屏極而言，有一控制屏極電流的效應。故稱爲控制柵。爲使屏極能夠強有力的吸引陰極放射電子，在正常狀況下，加在屏極上的電壓，爲一較高的正電壓($B+$)。另一較低的交流($A.C.$)或直流($D.C.$)電壓，則加在絲極或發熱體上，使放射極（或陰極）能獲得適當的放射電子之溫度。第三個電壓加於柵極，以控制屏極電流的流量。柵極上所加的電壓包含兩種，一爲大小固定的直流電壓，通稱爲偏壓(*bias*)；另一則爲交流信號電壓。對陰極而言，柵極偏壓多爲負值（卽負電壓），此偏壓的大小，可決定三極管的作用特性，以及屏極電流的大小。由於交流信號電壓忽大忽小交變不定，柵極上的總電壓（固定偏壓加交流信號電壓）也交變不定，因此在屏極上，就呈現出一對

應的屏極電流，此屏極電流，正如柵極電壓的放大複製品一樣。只要柵極上有一微小的交變信號電壓存在，屏極上也就會有一相應的交流電流，這就是三極管的放大作用。

圖11—46各圖所示爲陰極、螺旋形控制柵以及屏極的截面圖。乾電池（A）的電壓加於發熱體上，使陰極能正常放射電子。若屏極接一高電壓，而柵極的負偏壓（得自電池C的負端）不太大，屏極將可從空間電荷區域內，吸引到大量的電子。如果加於柵極者爲一深偏壓，屏極與陰極間的正常靜電場之場電力線，就不能穿過柵極的間隙，在此情況下，三極管中僅有屏極與柵極間的電場存在，關於此情形，可由圖11—46(a)所示的場電力線方向可知。此柵極的高深偏壓，可使屏極對放射電子，以及屏極與陰極間原有的靜電場失效。由於沒有電場在陰極附近存在，柵極與陰極間的空間電荷就越積越多，最後使屏極電流爲零。一般來說，只要有很小的柵極偏壓存在，三極管的屏極電流就能爲零，此種恰使屏極電流爲零的偏壓，就稱爲截止偏壓（*cut-off bias*）。當柵極偏壓深於截止偏壓（偏壓的絕對值大於截止偏壓的絕對值）時，電子管的屏極電流仍是零。

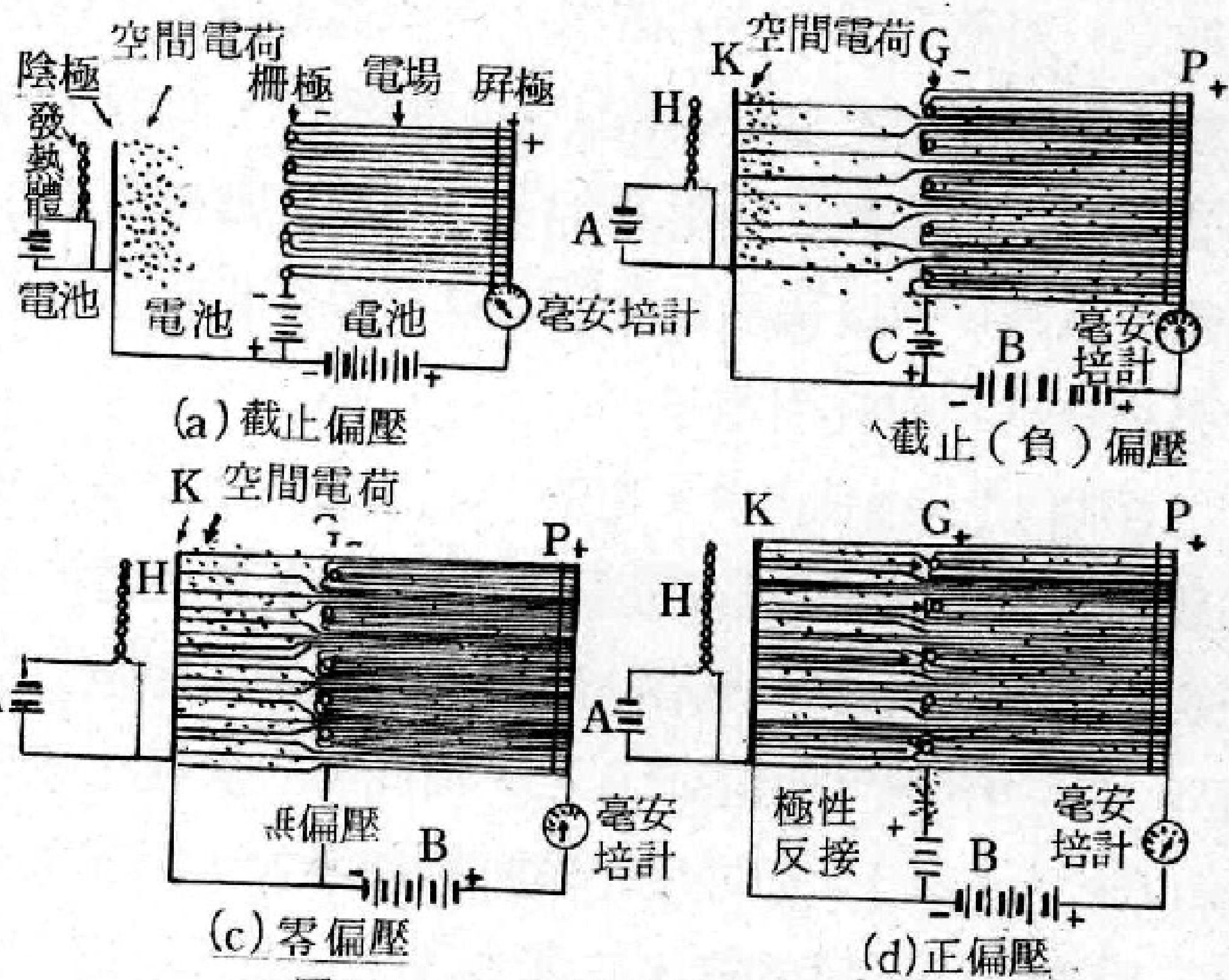


圖11—46　三極管控制柵的作用

若偏壓淺於截止偏壓，如圖11—46(*b*)所示三極管的構造與接線均和圖11—46(*a*)完全相同，只是所加的偏壓，較截止偏壓爲淺。因此

柵極再也不能使屏極與陰極間的靜電場完全失效，如圖11—46(b)所示，一部分場電力線，仍可穿過柵極的間隙到達屏極。部分空間電荷因此經柵極的間隙，被屏極所吸引，構成適量的屏極電流，這也可由圖中毫安培計的指示得知。若柵極偏壓漸漸減淺（但仍保持為負），通過柵極到達屏極的放射電子數，也隨之增加，因此屏極電流同時增大。無論如何，只要柵極維持在負電壓，陰極的放射電子，永不會被柵極所吸引（因柵極與放射電子均帶負電荷）。

如將圖11—46(a)及(b)中提供偏壓的電池（C）撤去，柵極的偏壓就為零，如圖11—46(c)所示。在零偏壓時，大量陰極放射電子，經柵極被屏極所吸引，形成相當大的屏極電流，此時三極管的作用幾乎與二極管相同。此時雖然偏壓為零，但柵極有靜電隔離作用，仍有阻礙電子通過的效應，所以屏極電流較全無柵極存在時小一些。雖然偏壓為零，但是柵極仍不能吸引電子。

在圖11—46(d)中，電池（C）的正極接於柵極，因而使屏極電壓在陰極附近，所造成的靜電場大為增強，屏極電流也就大增。如果柵極正偏壓足夠大的話，所有陰極放射的電子，都會被屏極所吸引，在此情況下，再也沒有空間電荷存在，而此時的屏極電流已達飽和值（*saturation value*）。如果柵正壓再繼續增加，屏極電流也不會隨之增大。

由圖11—46(d)知，三極管內的一部分場電力線是屬於柵極與陰極之間，由於柵極電位較陰極電位為高，所以柵極與陰極間有一電場存在（圖中部分電力線到柵極為止）。因此部分陰極放射電子，被柵極所吸引，形成一柵極電流（*grid current*），此電流經柵極的外電路（電池C），在陰極與柵極間流動。因此有部分電功率被柵極電路所浪費。為了避免較大的飽和屏極電流、功率的浪費以及電子管的損壞，一般都使電子管作用於偏壓範圍。

【控制柵注入式】（Control grid injection）

超外差機的本機振盪電壓經由一個電容器注入五柵變頻管的控制柵者。

【控制桿】(Control rod)

控制桿是含有能迅速地吸收中子物質(如鉿、硼等)的棒狀、板狀或管狀物，用來控制核反應器的功率，利用它來吸收中子，以防止中子促成進一步的分裂。安全桿(*safety rod*)則爲用於在正常操作中，突呈危險情況時，驟然深入爐心以便立刻中止連鎖反應。

控制桿及安全桿均藉金屬具有強大吸收中子之能力。此等常用之金屬有：

1. 鎘(*cadmium*)——捕獲中子之截面高達2,450*b*，但其熔點相當低僅320° C，遠低於反應爐之能量。因此須使用銀、銦、鎘之合金，其熔點甚高且對水之侵蝕性有抗力。

2. 硼(*boron*)——捕獲中子截面爲755*b*，常用其碳化物B_4C(在不銹鋼中存在，或分散於鋁中)，或硼鋼(含2%*B*之不銹鋼)，有時須濃集其同位素硼-10，因其捕獲中子之截面甚大(爲σ_c=4,000*b*)，尤其對於快中子常使用硼-10。

3. 鉿(*hafnium*)——其捕獲中子截面爲105*b*，抗蝕性強，但價昂，然係製鋯之副產品。

若干稀罕土質如釓(*gadolinium*)其捕獲中子截面爲4,600*b*、釤(*samarium*)爲5,600*b*、銪(*europium*)爲4,300*b*，常以氧化物形式分散於合金中使用。

【控電板】(Panel)

爲無線電機件，裝置於金屬板上。

【接地】(Earth connection ; Ground connection)

以電阻很小之導線將電器設備接至大地，叫做接地。其功用在：

1. 使接地之物體之電位與地球之電位相同(*OV*)，例如電視機

或收音機之地線。

2.大地爲電之導體，因此把大地當做電路之一部分，使電流流至大地，例如：簡單之電話或電報等。

3.在電路有通過甚大電流之顧慮時，將電流通至大地以防觸電或火災，例如：避雷針、配電線等。

【接地天線】（Earth antenna）

又名電燈線代用天線，當接收機天線線圈一端接地時，電燈線即替代天線工作，射頻即通過變壓器及底板，進入天線線圈另一點入地，使天線線圈有射頻電流。

【接地板哈特萊式振盪器】（Grounded plate Hartley oscillator）

是哈特萊式電路的變相，B_-及地接點移開陰極，線圈接在柵及地間，陰極則接在線圈的一分接點，屏無負荷，是直接連在$B+$上。

【接合式二極電晶體】（Junction dipole transistor）

接合二極電晶體包含二緊密接合的P型和N型半導體物質。接合形成於晶體的生長過程（成長接合）或溶解和再結合過程（合金接合）。

【接合式三極電晶體】（Junction triode transistor）



圖 11 — 47
接合二極電晶體簡圖

在眞空管內，二極管再加一極就變成三極管。現在的接合三極電晶體，在很多方面都與三極電子管相似。一個三極電晶體正如三極眞空管一樣，可應用於放大器與振盪器方面，但是電晶體有特殊的優點，如其壽命長、體積小、不受振動影響及無需陰極熱能等。

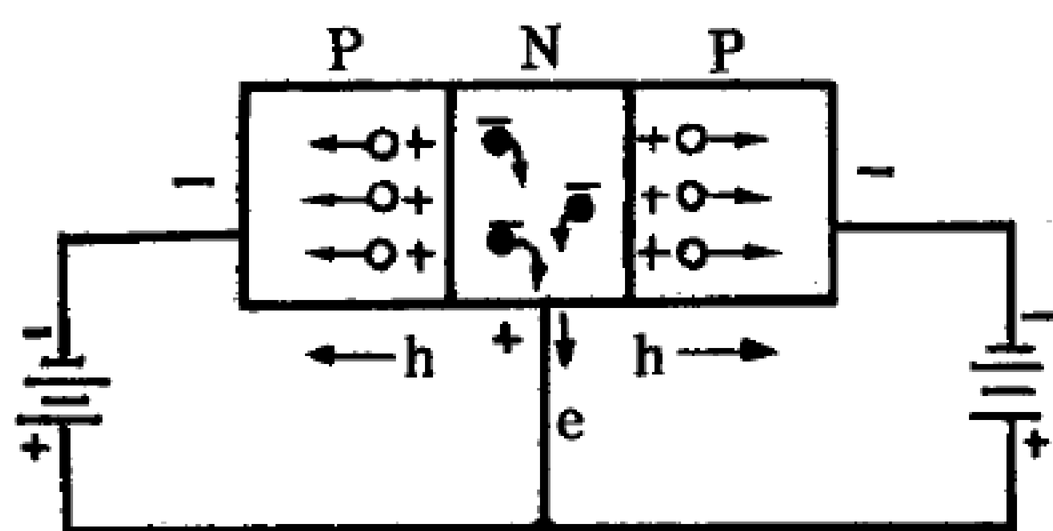


圖 11 —48
無傳導之 P-N-P 接合

圖 11—48 爲P-N-P接合體，如同兩P-N接合體反連在一起的三明

治形式。在實際的結構上，*P-N-P*三極接合體的中間*N*型鍺的寬度，較兩邊的*P*型鍺爲小。此種三極電晶體的兩個接合面，同樣可用成長式或融解兩種方式造成。

如圖11—48所示，對中間的*N*型鍺（通稱爲基極，在電晶體中，中間的一種半導體都稱爲基極）而言，兩邊*P*型鍺的電壓均爲負。反過來說，*N*型鍺基（基極）電壓卽爲正。所以在*N*型鍺的電子與在*P*型鍺的電洞都被電池所產生的電場吸引，電晶體中幾乎無電流存在。

再考慮相同的*P-N-P*電晶體，但其外加電池極性的連接如圖11—49所示。左邊*P*型鍺爲正偏壓也就是順向偏壓。右邊的*P*型鍺則爲負偏壓，也就是逆向偏壓。此種外電路的接法，是*P-N-P*電晶體的正常連接法。

通稱左邊接正偏壓的*P*型鍺爲放射極（*emitter*）簡稱爲射極。射極內的電洞受電池正電壓的排斥，向射極接合面（*emitter junction*）卽射極與基極間的接合面移動。任一種電晶體，凡是受順向偏壓的接合面，就被稱爲射極接合面。在順向偏壓所產生之電場影響下，電洞跨過射極接合面而進入基極（卽*N*型鍺）。基極非常之薄，並且所摻雜五價元素（雜質）的密度非常小，因此從射極越過射極接合面的大量電洞，只有小部分與小量的基極電子所結合。約有百分之五的電洞在基極區域消失，絕大多數的電洞都穿過基極後，再越過接合面進入右邊的*P*型鍺接收極簡稱集極（*collector*）。任何電晶體，凡是受逆向偏壓的極，都稱爲集極。同時集極的負電壓（V_c），可協助電洞急速進入此區域。

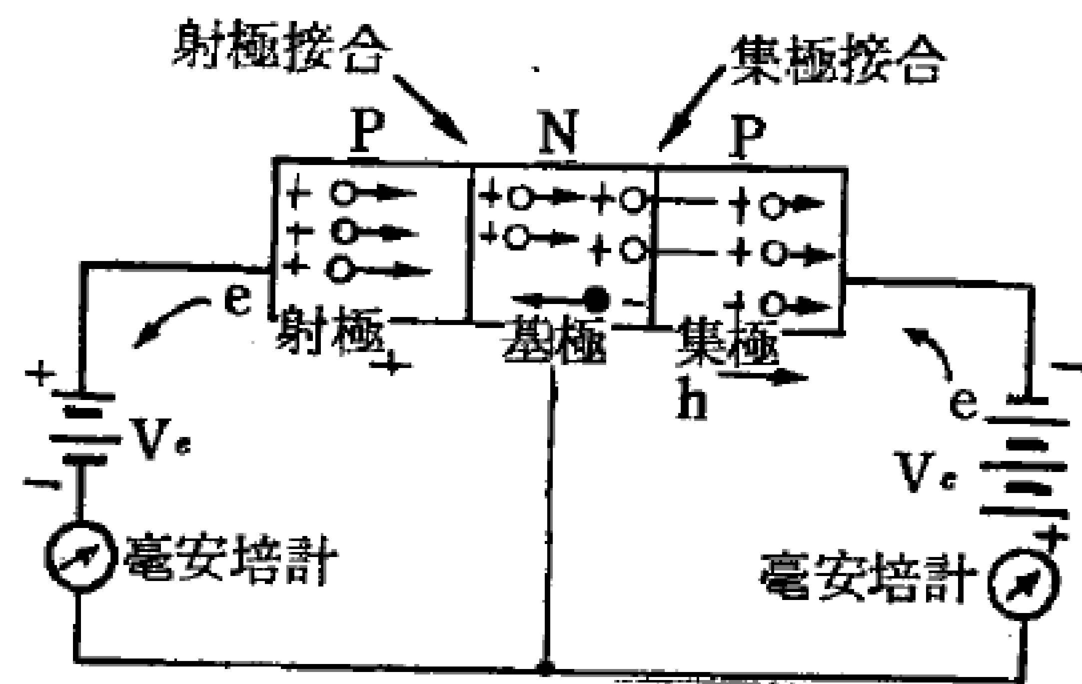


圖11—49　P-N-P電晶體的基本電路

每一電洞到達集極時，就與集極負電池（V_c）端所放出的電子結合

。只要在基極或集中有一電子與一電洞結合，同時在射極就會有一價鍵破壞放出一電子，此新電子立刻離開射極進入電池正端（V_e），所留的新電洞立刻向射極接合面移動，經基極到集極與電子結合，或經基極時與基極的電子結合，此種程序繼續循環發生，如此在*P-N-P*電晶體中電流就可不斷的流動。由以上所談的知道，在*P-N-P*電晶體中，電流是藉電洞載運電荷而形成，在外電路電流則藉電子所帶的電荷形成。再者，集極電流一定比射極電流小，這是由於電洞在從射極向集極移動的途中，少量的電洞與電子在基極中結合。

集極電流與射極電流的比值稱爲α（*alpha*），也就是用α表示電晶體的電流放大倍數。α值不可能大於1。通常α的實際值爲0.95到0.99之間。

由於集極的外加偏壓爲逆向偏壓（如圖11—49所示之集極偏壓），所以集極本身並無電流流動，集極中所流的電流完全是由射極所注入。通常很小的射極電壓V_e（約0.1到0.5伏特），就可在射極中產生電流，因此射極所需的輸入功率是非常小，而從射極擴到集極的集極電流與射極電流大小相同。而且集極電壓（V_c）可以高到45伏特，以容許較大的功率輸出。因此可知集極電路的較大輸出功率，受射極電路的較小輸入功率所控制。電晶體的功率增益（*power gain*）是非常大，有時可大到1,000，功率增益爲輸出功率與輸入功率之比。

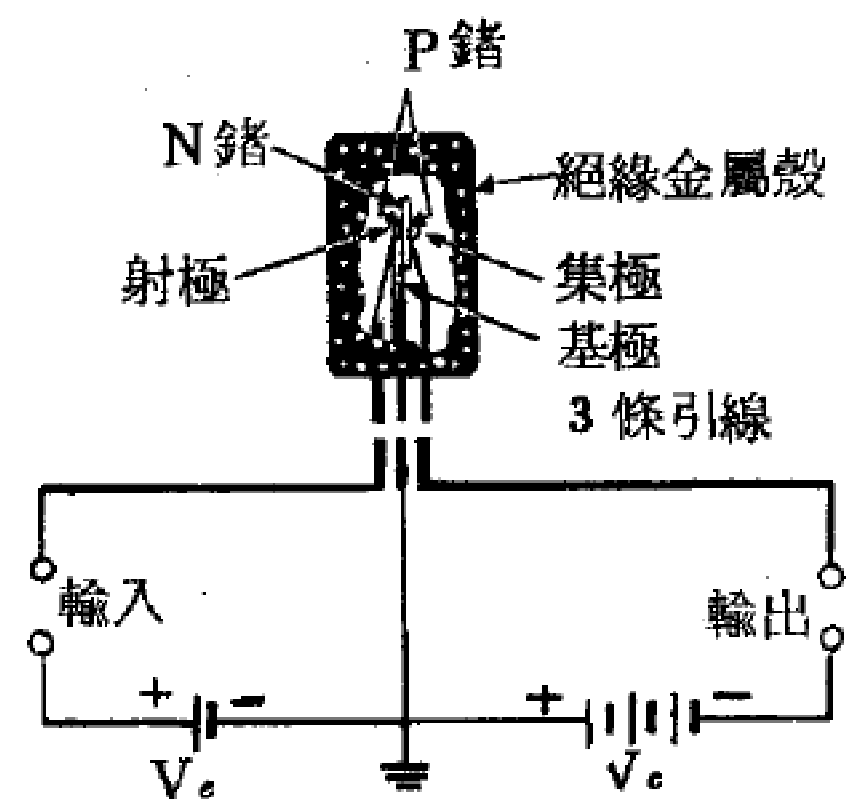


圖 11—50
P-N-P 接合電晶體的結構及相關電路

圖11—50爲一*P-N-P*電晶體之結構與其外電路的連接方法。此電晶體係溶解式。如要將圖11—50的電路當作放大器用的話，交流信號需加在輸入端，而輸出端則需接負載電阻。

【接合式四極電晶體】(Junction tetrode transistor)

由於集極電容及電荷載子經由射極，向集極擴展所需的時間太長，所以通常電晶體的頻率響應，受了很大的限制。在高頻率時，集極電容成爲電晶體本身的短路，這正如電子管的極際電容情形。由於電荷載子在電晶體中，由射極抵達集極所需的時間，限制了其頻率範圍，很顯然的，如果在電荷載子通過集極接合面以前，集極電壓的極性已經改變，則電晶體的電流增益必然降低。

接合式四極電晶體之作用在克服常用電晶體的不良頻率響應。接合式四極電晶體的第四個極（第二基極）接於基極區域，但在同一基極的另一邊。當一負電壓加於第二極後，在基極區域（*P*鍺）產生一電場，將負電荷載子的電子向原來的正常基極（第一基極）邊排斥，此種現象相當於將電晶體的*P*鍺電阻降低及使*P*鍺變薄，因此可使載子的過渡時間（*transit time*）減小，對於電晶體的頻率響應有很大的改善。

【接合柱】(Joint pole)

利用一根導體，作公共連接點用者稱爲接合柱。

【接收天線】(Receiving antenna)

這是一個導線系統。在傳播來的電磁波之作用下，此系統會感應出電勢來。室外接收天線懸掛在建築物的外面，架設在專門的天線桿上、大樹上、屋頂上等等。室內接收天線則裝置在建築物的裏面。

應用最廣的接收天線是單線式*T*形天線，其水平部分的長度爲15～25 米。在有些接收天線內，還有專門的設施，以降低工業干擾電平，這種接收天線叫做防雜音天線。其中有的是這樣作的：在天線引下線的外面加上靜電屏蔽以防止電場的影響。如果接收工作受到特別強烈的干擾，則採用具有集中電容的接收天線。在這種天線裏，水平部分係採用另一種形如小籌、小籃、小球的導線系統。

短波接收天線和長波及中波天線比起來，雖然尺寸不同，導線的排

列情況不同，但就其基本特點而論，它們還是很相似的。

用於最短波（厘米波）的接收天線，從其裝置上看，與長波及短波的接收天線都不相同。對於最短的無線電波，不僅採用偶極子，還採用著裂縫天線、加裝拋物面反射器的天線或喇叭形天線。

【接收天線之增益】（Gain of receiving antenna）

發射功率電平維持不變，測量此一接收天線與另一天線在接收機輸入端之功率比值，即稱爲接收天線的增益。

【接收線路】（Receiving circuit）

例如再生機、高放機及超外差機等之接收機線路均謂之接收線路。

【接收機】（Receiver）

接收無線電波或光波等裝置，又能將接收的電波改變爲有用的形式如聲、畫像或電報等稱爲接收機。最簡單的礦石接收機中有一個振盪廻路 LC，廻路的一面接有天線和地線，另一面接有晶體檢波器、耳機和分路電容器。由於諧振現象，調諧到所收電臺頻率的振盪廻路，可以從其電波作用於天線的所有電臺中，將所需要的電臺選出來。輸入振盪從接收廻路送到檢波電路。分路電容器爲高頻振盪建立起從振盪廻路到檢波器的阻抗很小的通路。檢波器將收到的已調振盪變爲低頻振盪，這種振盪經過耳機內的線圈時便在耳機內產生聲音。電子管接收機是比較複雜的裝置，其中檢波和信號放大都採用電子管。

【接收機之調諧】（Receiver tuning）

調整接收機振盪廻路內的可變電容和電感，使所選電臺能送出最響亮的聲音之謂。欲使作用於某個振盪廻路的外部電勢能在此振盪廻路內產生最大幅度的振盪，必須將振盪廻路調諧得和外部電勢的頻率相諧振。因爲在對無線電信號進行接收時，作用於接收機的是發射電臺電磁場所產生的電勢。所以要實行接收，便須將接收機的振盪廻路調諧到發射電臺的頻率。接收機振盪廻路的固有振盪頻率決定於廻路電感和電容的

數值。調諧的方法是改變廻路內的電容或電感，或將二者同時改變。欲使調諧能夠成爲一個均勻的過程，廻路中的電容或電感必須是均勻地變化。

【接收機傳眞度】(Fidelity of receiver)

係用以表示接收器的調諧或其他電路，能精確地重現所有頻率信號輸入的程度。此一特性對於等幅波接收機比較次要，但在調幅、調頻及電視廣播等接收機中，則極關重要，因爲各調諧電路必須通過相當大的頻帶寬度。

要使一接收機具有百分之百的傳眞度，即其輸出信號的各種特質與原來信號完全相同，在理論上及事實上均屬不可能之事，不過技術家們在儘量設法使其接近。例如，使接收機的通頻帶有足夠的寬度，並能均勻通過發射信號的全部頻帶；選用特種配件，如高音及低音揚聲器和特製的機箱等。傳眞度接近百分之百的接收機，稱爲高傳眞度(*high-fidelity*)或 *hi-fi* 接收機。

欲測量接收機之傳眞度，首先需調整標準信號發生器及接收機，使其在某一選定的頻率上工作，並將信號電壓維持不變，然後僅改變調變的聲頻赫數，約自100赫至10,000赫，再觀其輸出電力是否維持一水平曲線或水平部分闊到何種程度？若此自左至右的曲線水平部分愈廣闊，即表示此接收機的傳眞度亦愈良好。這一點與普通擴音機上的情況相似。

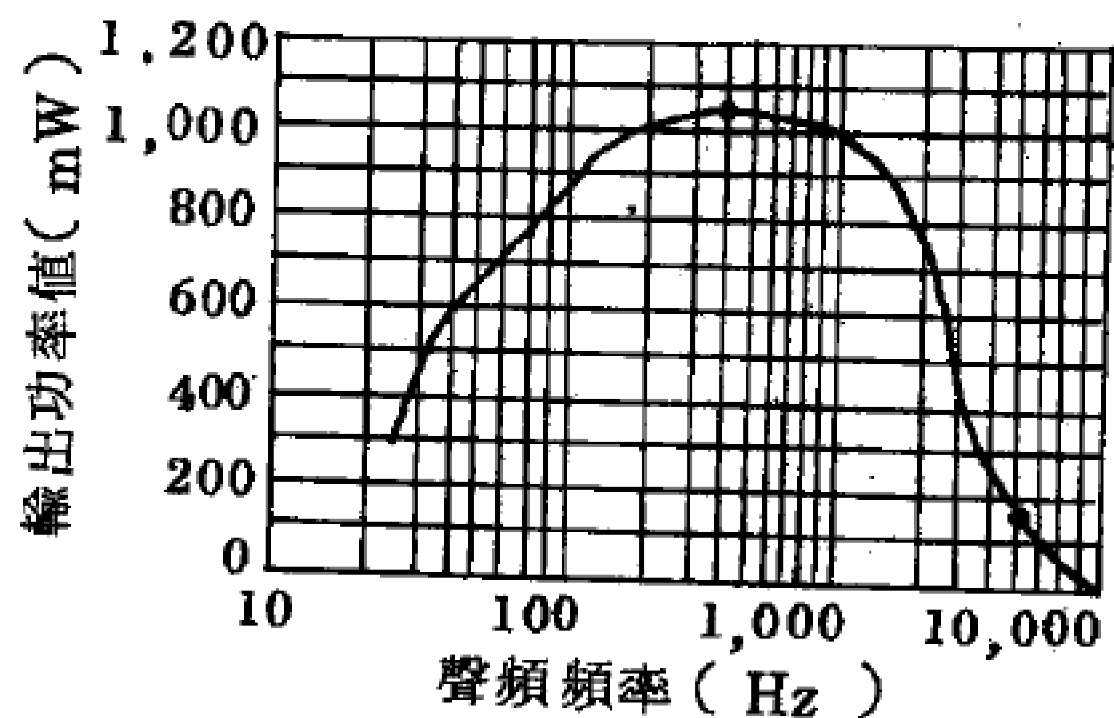


圖 11—51 接收機的傳眞度曲線

例如圖 11—51 所示的傳眞度曲線，左邊低聲頻與右邊高聲頻部分，其音量輸出激減，不能如理想的成一水平線。普通以 400 赫(*Hz*)爲標準比值，如圖中所示。在 5,000 赫時其輸出僅約 400 赫時的 1/10，

因此，5,000　赫時之傳眞度降低10　倍。但在一般的擴音機上，亦有以增減若干分貝（±*db*）計算的。

【接收機選擇性】（Selectivity of receiver）

係指其在許多無線電頻率中，分辨並檢收所欲獲得的信號頻率與摒除不需要信號頻率的能力。接收機的總選擇性，則決定於所用調諧電路的數目及各調諧電路所獨有的選擇能力。

接收機的選擇性測量方法，首先應調整信號發生器，使其輸出一調幅的某頻率信號至接收機，再調整接收機使其在該頻率的諧振點上，並輸出預定的標準電功率，隨卽記下所需要的輸入電壓微伏特數，然後，再將信號發生器的頻率略加變動，卽增減若干仟赫（*KHz*），此時必因輸入信號頻率的變動而使接收機的輸出電功率或音量隨之降低。若要保持與在諧振點時同值的輸出電功率（例如0.05 瓦特），勢必在新的頻率上增加輸入信號電壓（微伏特值）。

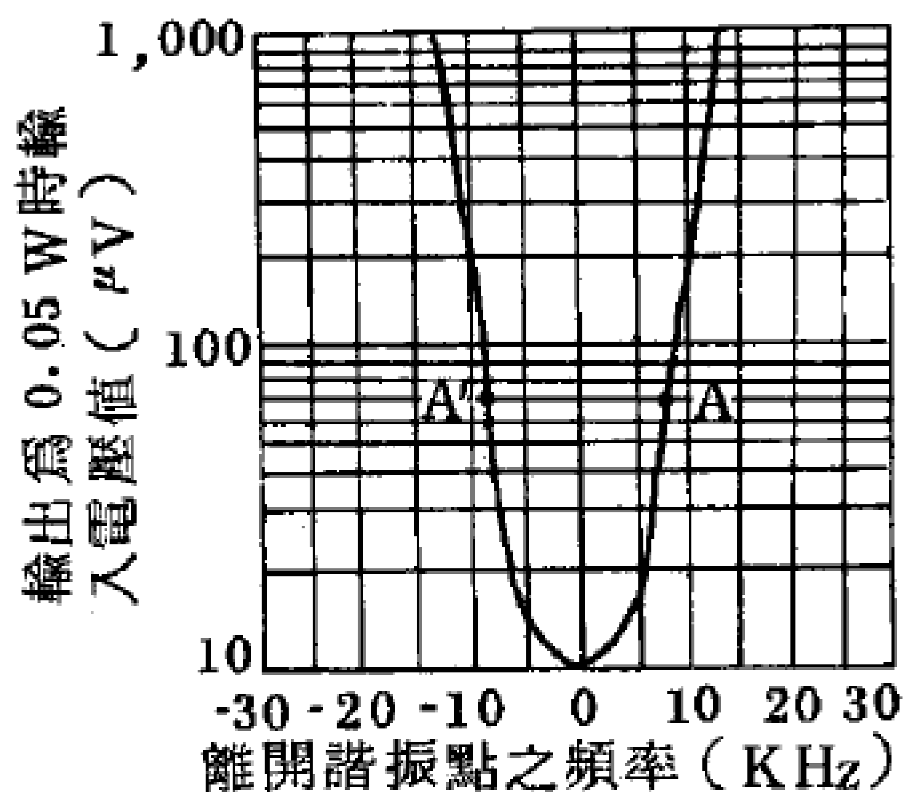


圖 11 — 52
接收機的典型選擇性曲線

圖11—52所示者卽爲一接收機的典型選擇性曲線，由此圖中可以看出頻率在0爲諧振點時，只須10微伏特（*μV*）的輸入電壓就有0.05 *W*的輸出電功率。設頻率離開諧振點左右9仟赫（*KHz*），卽在*A*點上，若欲保持同值輸出，勢必將輸入電壓自10 微伏特增至70微伏特。此亦表示在離開諧振點9仟赫時，接收機的靈敏度僅爲諧振點時之1/7，若此曲線愈深愈狹，卽表示此接收機的選擇性曲線亦愈尖銳，或選擇性亦愈良好。

此處尙應提及者，卽接收機的選擇性曲線寬窄與其程式有關。例如，等幅波接收機最窄，調幅接收機次之，調頻接收機更次之。接收機的選擇性曲線，應與發射機所發射信號的頻帶寬度相配合，否則將影響其

傳眞度（*fidelity*）。

【接收機穩定度】（Stability of receiver）

係指接收一恆定強度與頻率的信號，在某一定時間內，產生恆定輸出的能力而言，亦係接收機恆定調諧於已知信號的能力。

接收機在某些頻率指度時，若有產生振盪或顫動的趨勢，則稱爲不穩定。接收機的穩定度，尤其是在短波段，特別值得注意。機件的溫度變化、電源電壓的不穩、濕度（*humidity*）與機械振動等，均會影響接收機的穩定度，故應設法保持其正常性。接收機雖受上述因素影響而仍能在正常情況下工作者，表示其穩定度極爲良好。

【接收機靈敏度】（Sensitivity of receiver）

即以最小信號輸入電壓所能傳遞的標準信號輸出電功率。此係通用的定義，因爲輸出電功率是由接收機的程式而決定，根據接收機的程式，乃使用自0.05至1瓦特（*W*）輸出電功率的各種標準值。通常靈敏度是以天線所輸入微伏特（*μV*）數對標準輸出瓦特數表明之，其測量的方法，主要可分爲輸入固定法及輸出固定法兩種。茲扼要說明如次：

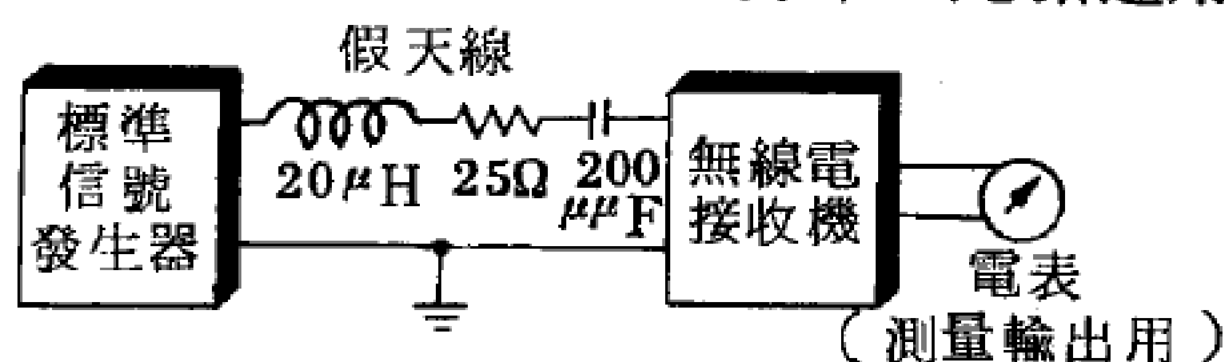


圖 11 — 53
測量接收機靈敏度的電路排列

1. 輸入固定法——此法係將以一定大小的信號電壓輸入，測量其輸出電功率。例如，同程式的甲乙兩接收機，各輸入信號電壓100微伏特（*μV*），而甲機輸出200毫瓦特（*mW*），乙機輸出1,200毫瓦特（*mW*），此即表示乙機的靈敏度爲甲機的6倍。但是這樣的測量，常因接收機的末級聲頻功率放大管容量小而發生過載，使音量失眞，而難以比較其靈敏度。

2. 輸出固定法——一般輸出功率爲1瓦特（*W*）以下的接收機，多預定其輸出功率在50 毫瓦特（*mW*），即0.05瓦特（*W*），然後

再以聲頻400 赫（*Hz*）及30 % 調幅度的調幅 頻信號電壓，經一標準假天線輸入至接收機，如圖 11 — 53 所示。再查看輸入電壓，為若干微伏特（μV），才有此預定0.05 瓦特的輸出電力，若輸入值愈小，即表示靈敏度愈高。

上述兩種測量方法，若調幅度增加，其輸出電功率亦隨之加大。即使同一調幅度，對於動作頻率亦有關係。此外，又因接收機程式之不同，其靈敏度亦各有別。故比較兩機的靈敏度，並非一簡單之事。

【接線匣】（Junction box）

輸電總線與饋電線相接之鐵匣之稱。

【接線柱】（Binding post）

能連接多條接線的條形導體。

【接線圖解】（Pictorial wiring diagram）

繪有實物的接線圖。

【接頭】（Junction）

電路上將兩根或多根導線連接起來的地方稱為接頭。

【接頭雷射】（Junction laser）

受正向偏壓電壓的 *P*－*N* 接頭，其注入 *P* 型區的電子與空穴復合所需的時間，完全看那一種型式的復合過程較重要而定。某些半導體如砷化鎵（*GaAs*）的復合變換進行極快，這時電子從傳導帶躍遷到臨近價能帶的雜質能階中，同時放出光能。這種躍遷恰與光電效應相反，此時電子吸收光能而躍遷入傳導帶。在砷化鎵中，禁戒能

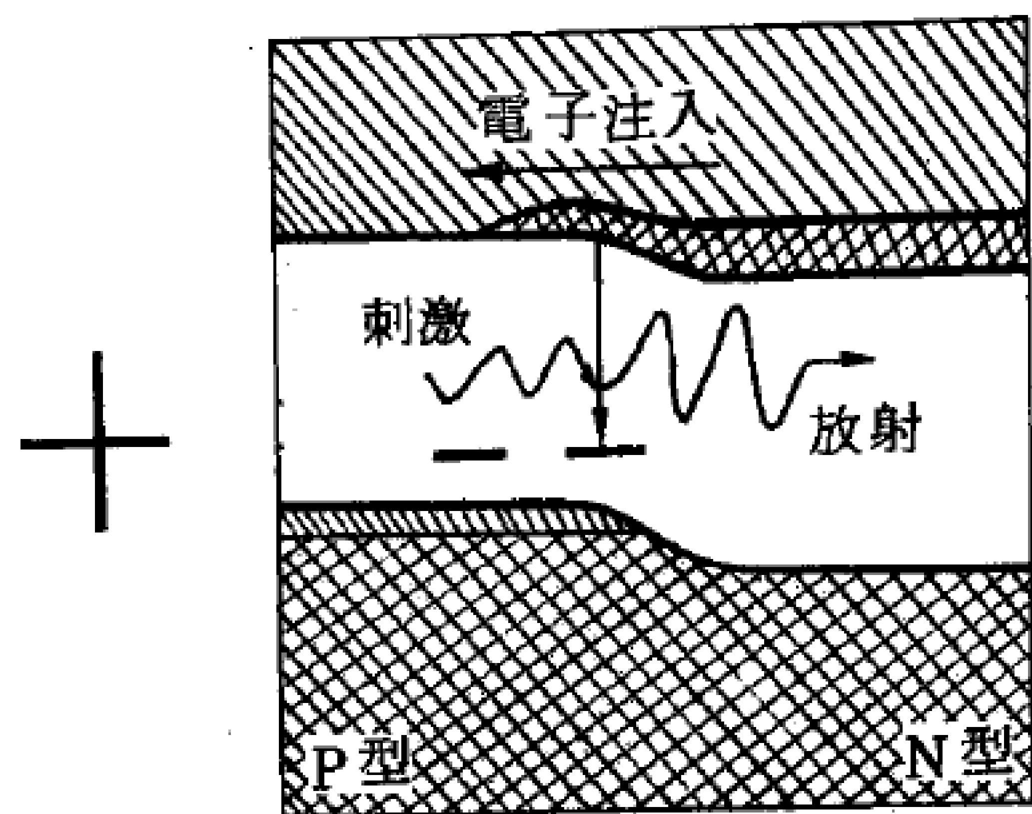


圖 11 — 54
受正向偏壓的 P-N 接頭，因外來光波刺激而引致放射的情形。

隙寬度與近紅外線（*near infrared*）的波長相當，所以其放出的光也具有同樣的波長。爲這種型式的躍遷所支配的接頭是優良光源。只要改變正向電流的強度，就可以輕易而迅速地改變光能的強度。

因爲電子躍遷互不相涉，故放出的光能沒有一定的方向，而是向四面八方輻射的，這與傳統光源，如日光燈等相似。然而集中照射於接頭上的光能，其波長卻能影響復合變換。這種外加的入射光促進復合變換，使這種放射出的光能，加到入射光上而增加其強度。於是*P*－*N*接頭的作用，就相當於一具光能放大器，這種現象也稱爲由受激放射而引致光線放大（*light amplification by stimulated emission of radiation*），簡稱雷射。復合變換的情形可由受正向偏壓*P*－*N*接頭的能帶模型來表示（圖11—54），稱之爲接頭雷射。

因爲電子躍遷時所放出的能量，足以激使其他復合躍遷發生，所以不必把光照射在接頭區域以產生雷射。玆以一具打磨光亮，且平行側表面與接頭面垂直的*P*－*N*接頭爲例。平行於接頭的入射光，就會在這些平行表面間反復反射而不斷運行於接頭區域之間。於是在這方向放出光能的電子躍遷，會激使其他躍遷而在同一方向上將光放射出來，如此周而復始，終使所有的光均射向同一方向爲止。與表面成一角度的入射光，則因不能發生這種反復躍遷其放大率不顯著。若兩平行表面之一，不是完全反射面，則部分光能將透過此一表面而損失。因爲接頭雷射的放射光所激發的電子躍遷，能使入射光的能量增強，因此這種光源放射光的特性與傳統光源大相逕庭。這就是說，放射光均具同一波長，而不是由多種波長不同的光所合成。同時僅有平行於接頭面的放射光，其光能方被增強，因此自接頭雷射放出的光幾乎完全平行。若把雷射光束自地球射向月球，在月球表面其寬度不過數哩而已。

因爲雷射光所具波長幾乎完全一致，因此可以用透鏡把光束焦聚在僅有波長大小的一點。而在此一十分小的區域內，能量密度極高，所以

便能輕易獲得足以破壞一切物質的高溫(它的能量密度約為相同波長太陽光的一億倍)。利用雷射光束可切割難熔金屬或在上面鑽孔，同時它也用於外科手術中以燒灼或切割人體組織，其精巧度實遠超最優良外科醫生使用手術刀所能達成的效果。

利用單一波長雷射光束來傳遞消息時，它與電視發送機所發送的無線電波極其相似。只需依照欲發送的電訊調節接頭電流，即能達到目的。同時因為光波波長極短，故其處理電訊的能力極為驚人。由可見光譜內可容納十億個電視波道，及一束雷射光束就能負擔全美國在同一時刻內的電話會話可見一斑。由以上種種事實加上雷射光束的漫射性極小，因而雷射在遠程太空通訊中所具的地位十分重要。此外雷射尙可以用來接收光訊號，此時所使用的天線將為望遠鏡或其他透鏡組是不言而喻的。

【接觸力】(Contact force)

凡必須由兩個物體互相接觸才能產生效應力的，稱為接觸力。如彈力、摩擦力、表面張力。

【接觸角】(Angle of contact)

在氣體、固體、液體界面處，液體與固體表面間之夾角，即液面向內法線與固體向內法線的夾角(如圖11—55)。它的值(介於0°和180°之間)取決於三種界面(氣、固之間；固、液之間；氣、液之間)的相對表面能量；亦即主要由液體和固體之間的附著力，以及液體的內聚力決定。例如接觸角為 0°時二力相等，為180°則全無附著力。玻璃與水銀間之接觸角約為140°。

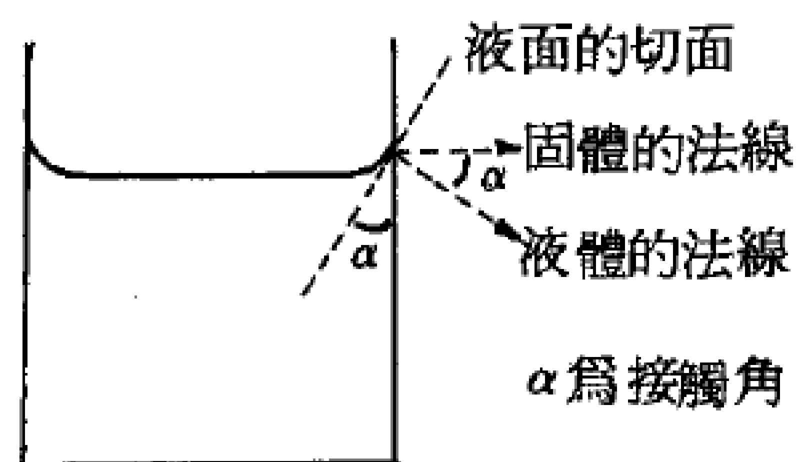


圖 11—55

不相混的二液體間，也有類似的接觸角。

參閱“毛細管現象(*Capillary tube phenomena*)”條。

【接觸起電】(Contact electrification)

將帶電體與未帶電的物體接觸，則此未帶電體必生相同的電荷，此稱爲接觸起電。由兩物體互相作密切的接觸（即摩擦）以騷擾對方電子，使失平衡（中和）而起電的過程，稱爲摩擦起電（ *electrification by friction* ）。其亦爲接觸起電的一種。

【接觸電位】（ Contact potential ）

若有二個不同的金屬在交點 *C* 處接觸，如圖11－56 所示，則 *A*、*B* 兩點之間將會有電位差產生，稱爲兩金屬之間的接觸電位。

接觸電位產生的原因，是由於當二個金屬在邊界 *C* 處相聯時，電子將由工作函數較低的金屬，假定是 1 ，流到另一個（即 2 ），直到金屬 2 上已聚了足夠的負電，形成減速電場而摒拒再來的電子爲止。此時兩金屬的費米能階將在能量圖上處於同一高度，而電位差就等於兩金屬工作函數的差 $E_{AB} = E_{W_2} - E_{W_1}$。

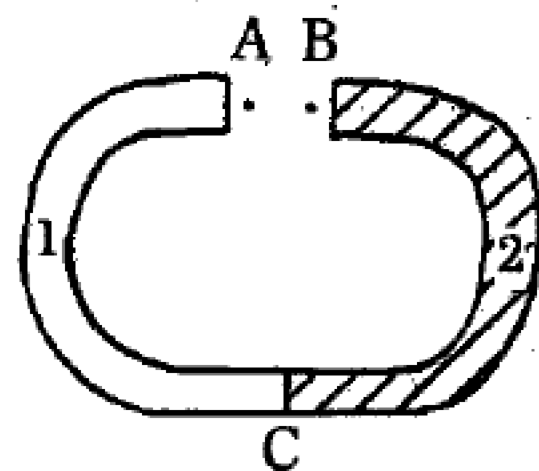


圖 11－56

如果兩金屬是相同的，其間的接觸電位就是零。如果是不同金屬，則工作函數低的金屬將帶正電，工作函數高的帶負電。

接觸電位的數值雖然不大，但對於眞空管的工作很有影響，因爲在眞空管內，陰極多數是工作函數較低的金屬，如果這陰極是用一電線和另一電極在管外相連，則這二極之間的實際電壓就不是零，而是二個工作函數之差，此一電壓的方向將是抑止電子從陰極放出來，因而減低了眞空管的效用。

【接觸電阻】（ Contact resistance ）

兩導體或導線的接合點（ *junction point* ）或焊接點（ *soldering point* ）如果不妥，將產生接觸電阻，使電流斷續不暢或不穩定，足以引起高熱及在電子裝備中引起雜音（ *noise* ）等干擾。如圖 11－57 所示，電線與插頭之接觸部分太鬆，或插頭與開口之接觸不良，或開關之接觸部分氧化，致該部分之接觸電阻變大而發熱，爲易成火災之原

因。

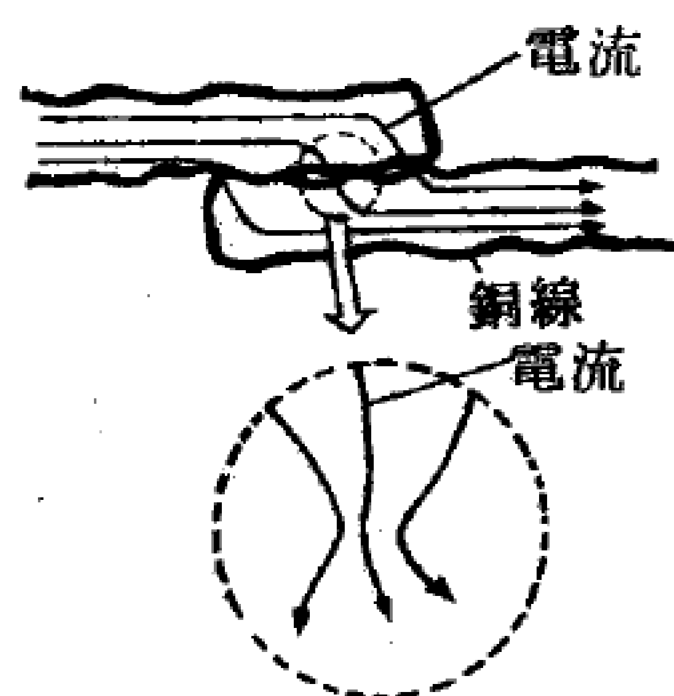


圖 11 — 57
產生電阻的原因

這是由於兩根導線輕輕相碰時，表面粗糙，雙方之接觸面積變小，電流流通受到阻礙，而電阻變大。連接電線時，如將兩邊磨光，用力絞緊，則因接觸面積較大，接觸電阻變小。

自印刷電路（*print circuit*）及積體電路（*integrated circuit*）發明後，接觸電阻的困擾已可以減到極微的程度，使電子裝備的靈敏度與穩定性大爲增高，對太空通信及探測宇宙中各種粒子放射的訊號大爲便利。

在絕對眞空中，兩導體如互相接觸，會自然地緊密接合，稱爲冷焊（*cold soldering*）。冷焊無接觸電阻，爲現代工業上的重要發現。

【接觸電動勢】（Contact e.m.f.）

金屬分子皆易失電子，但仍有程度之別；失之較易者生正電位，失之較難者生負電位。前者必反抗電子之脫離；後者則拒絕電子之加入，故二金屬之電位差易因電子移動形勢之平衡而固定，此由二金屬接觸而生，故名爲接觸電動勢。此種現象於1786 年由義人噶萬里（*Luigi Galvani*）首先發現。1800 年，義人伏打對噶氏所發現的現象續予研究，獲得以下結論：

1. 接觸電動勢之大小視接觸之物質及接觸點之溫度而異，與接觸面積及時間無涉。

2. 各金屬分子，依其電子脫離之易難程度，可排列爲鋅、鉛、錫、鐵、銅、銀、金、碳，由此可決定接觸電動勢之方向。

3. 將上列次序中任二金屬相觸，而比較其電動勢之大小，則結果爲

鋅 - 鉛 = 5	鉛 - 錫 = 1	錫 - 鐵 = 3	鐵 - 銅 = 2
銅 - 銀 = 1	鋅 - 銀 = 12	錫 - 銅 = 5	鋅 - 鐵 = 9

4. 二種以上金屬連續接觸，其兩端金屬片間之總電動勢等於該二金屬單獨相觸之電動勢（$A\text{-}B\text{-}C\cdots N = A\text{-}N$）。

若溫度相同之諸金屬片循環接觸時，則其接觸電動勢之和爲零，即無電流產生。

1. 二金屬片相接觸，其一接觸端如爲正電壓，則另一接觸端即爲數值相等的負電壓，故電壓爲零。

2. 若連接二種以上金屬成通路，則最後接觸點所生之電壓，亦與所接二金屬之原有電壓相等相反（因其等總電壓與兩端金屬單獨相觸時之電壓相等）。

若二接觸點之溫度不同時，則諸金屬片循環接觸電動勢之和不爲零，即有電流產生。

此稱熱電效應（*thermo-electric effect*）又稱則白克效應（*Seebeck effect*）。爲1821年德人則白克（*Seebeck*）發現。若金屬之溫度不同則接觸電壓不等，而生電流。此種由熱能轉變之電壓、電流，特名爲熱電壓或熱電流；用以發生熱電流的裝置稱爲熱電偶（*thermocouple*），可用以製成測量溫度與輻射之重要儀器。

熱電效應之逆現象稱爲帕耳帖（*Peltier*）效應於1834年發現。以電流通過兩金屬相接處，則視電流之方向發熱或冷卻。

【接觸勢差】（Contact potential difference）

即兩種金屬接觸表面間的電位勢差。勢差之產生是由於兩種金屬有不同的功函數，功函數即將一電子由金屬的費米能階移至自由空間所需的功。在接觸部分，兩者中的電子有達到相同費米能階的趨向，爲完成此趨向，電子遂另行分佈而建立電位，使兩金屬產生勢差。在空氣中的接觸勢差和在眞空中（且抽出吸附的氣體）的內禀勢差須加以區分。根據密立坎（*Millikan*）的理論，兩金屬A與B間的內禀接觸勢差爲

$$V_{AB} = h(\nu_A - \nu_B)/e$$

式中 h 是浦朗克常數（*Planck's constant*），ν_A 和 ν_B 是各種金屬光電發射的臨界頻率，e 是電子的電荷。在任何情形下，若兩金屬電子的功函數是 P_A 和 P_B，則接觸勢差爲

$$V_{AB} = (P_A - P_B)/e$$

功函數與金屬所在的介質有關，接觸勢差亦因而由介質決定，但至今甚難對接觸勢差作精確的量度。

又接觸勢差亦指加於眞空管柵極上的偏壓（*bias*），而能使柵極電流爲零者。這種電壓通常介於0.1與1.0伏特之間。

【探向電臺】（Direction finding station）

爲海上無線電輔航業務中的設備之一，移動電臺可以呼叫探向電臺，詢問方向及位置。

【探針】（Probe）

一般測驗用的試棒。

【探測火箭】（Sounding rocket）

在距地面4,000哩內爲探測大氣層所設計的火箭稱爲探測火箭。

【探測器】（Detector）

一種輻射偵檢儀器，有對輻射靈敏的材料，能產生適於度量或分析的信號。

【探照燈】（Search light）

探照燈之目的是在一預定的方向產生一強力的遠距離照明。

探照燈中常用反射鏡而不用凝光透鏡，因反射鏡不產生色像差（*chromatic aberration*）且光之損失亦小，再者，若反射表面爲拋物線形狀，可消除球面像差（*spherical aberration*），其光線之較大集聚角較用一透鏡系統

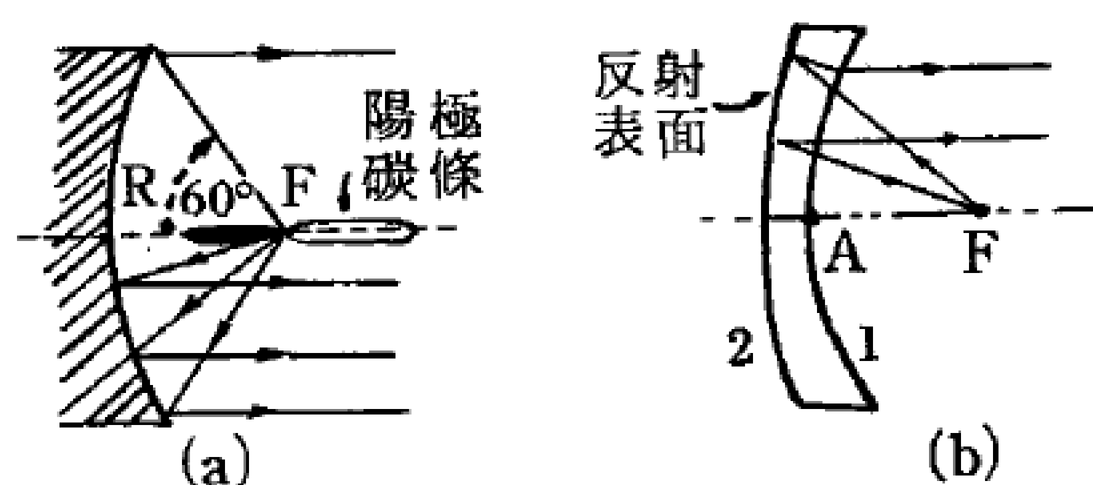


圖 11 — 58

更可靠。

探照燈之原理由圖11—58(*a*)可瞭解，圖中一玻璃表面（底層成光滑拋物線形，且鑲敷一層高反射性金屬層）安裝情形為可接收由位於此鏡焦點之強力弧光燈陷口射出之光線。

拋物線之熟知特性，即由F焦點發射之所有光線將經反射而以軸之平行方向由表面射出，此乃最常見用於投射強力光柱之光學要件，可用鏡徑比在$F/0.5$及$F/1$之間，意即集聚角為90°（在前場合中）。重的、強靭的、且耐熱的金屬層（如銠 *rhodium*）可用表面上，不過由弧上發生之熱及煙可使表面晦暗，而短時間內便可失卻反射本領。至於若干探照燈之鏡可用玻璃盤做成。盤之兩面均磨光，但背面鍍銀（見圖11—58 (*b*)），玻璃厚度在銀及弧之間可保護反射面。

尤有進者，如此之透鏡-鏡（*lens-mirror*）系統可設計成無球形像差（換言之為一發射平行光柱者）。即係使用兩球面表面，免去產生一拋物線表面之困難程序。如此之鏡有一表面1之半徑r_1等於由表面A至焦點F之距離，而反射表面2之半徑r_2與r_1之比為

$$r_2 : r_1 = 1.5 : 1$$

【捲帶極限】（Entrainment limit）

熱管在導熱時，其管內的汽體自蒸發部分流向冷凝部分；而液體則自冷凝部分流向蒸發部分。汽體和液體的流向正好相反。在流體力學上看來，這種不同形態的流體以相反方向流動，其接觸面是處於不穩定（*unstable*）狀態之下，此時汽體和液體接觸面會有波動產生。導熱量愈大時，管內流量也愈大，這種波動也隨著流體和液體之間的相對速度而增大。當波動大到某個程度時流動中的汽體會自液面帶起一部分的液體，這種現象稱之為捲帶（*entrainment*）。捲帶現象發生時液體無法完全流回蒸發部分，此時的導熱量稱之為熱管的捲帶極限。

【掃廻】（Sweep）

陰極射線管電子束的均勻運動。

【掃廻發生器】(Sweep generator)

射頻信號產生器之一，供給水平偏向屏用。

【掃廻電路】(Sweep circuit)

產生鋸齒波形電壓的振盪電路稱之，供給陰極射線管作掃廻用。

【掃描】(Scanning)

在電視中圖像的傳送是先將圖像分解成許多的像素，再將這些像素，依次由左而右由上向下，一個個將光變成電子發射出去，在接收時，依次排列起來，打在螢光幕上，使電子又轉變成光，於是圖像就還原出來了，這種依次發出或接收的程序就是掃描。

掃描就像看一頁書一樣，必須從第一行的左方開始，向右方一個個的看下去，第一行看完後，很快回到第二行左方，繼續向右看，如此一直看到此頁的最後一行完了為止。圖 11 — 59 的前進式水平掃描就是以此種看讀的方式作用的。在發射機及接收機電子束以快速在水平方法產生一由無數圖素所構成水平線，然後很快的回到左方，再掃描第二條線 (如圖11 — 59(*a*)所示)。在水平返馳時間 (*horizontal retrace period*)內，攝像管及收像管兩者都成空白，也就是沒有信號發出，也沒有信號可接收 (如圖 11 —59的虛線)，所以在收像管上看不到返馳線。為了不損失有用的圖素，所以返馳的動作必須非常快。同時掃描出每條水平線後，電子束需向下移少許，以免掃描出重複的水平線。此種電子束向下移的動作是由從上到下之垂直掃描運動 (*vertical scanning motion*)所造成，並且垂直掃描運動與水平掃描運動同時發生。再者，當電子束完成最後一條線時，必須非常迅速的回到左上方 (如圖11 — 59(*b*)所示)。回到左上方之動作就是垂



(a)水平返馳



(b)垂直返馳

圖 11 — 59
前進式水平拂掠

直返馳，以便與水平返馳相區別。垂直返馳線也是空白的，在電視收像管上看不見。爲得最清楚的圖像，也就是爲得最大的解像度（*resolution*），構成圖像的水平線必須越多越好。但受了實際條件所限制，每一圖像或圖框水平線的標準數目，現在已經定爲525條。

爲避免影片中的動作閃爍或中斷，靜止畫面在展示的速率需非常快，如此由人類視覺暫留的影響，方能感覺到畫面是連續變化的。在電視，圖像複演率（*image or frame repetition rate*）的標準數爲每秒30個。雖然圖像複演率是如此高，但仍有閃爍現象存在。爲了消除此種閃爍，可將同一圖像在收像管上顯示兩次。爲達此目的，必須用另一種掃描圖型。圖11—60所示爲交織水平掃描圖型，其水平掃描線分爲兩組，通稱爲兩個場框（*fields*）。

由圖11—60知道，第一場框掃描出的線，都是註有奇數號的線，第二場框所掃描的爲註有偶數號的線。第一場框的最後一條線（註明號數爲7者）只有一半在下方，而另一半水平掃描線則呈現於上方，當兩場框都掃描完後，電子束返馳回左上方。爲使說明簡單起見，圖11—60所示者只有七條水平掃描線。在實際情形，每一場框所含有的水平掃描數必爲525條的一半，也就是262.5條。因爲每一畫面含有兩個場框，所以場框的複演率爲每秒60次，也就是圖像複演率的二倍。在美國場框複演率等於交流電源的頻率，因此可簡化發射機及接收機電源濾波器的設計。

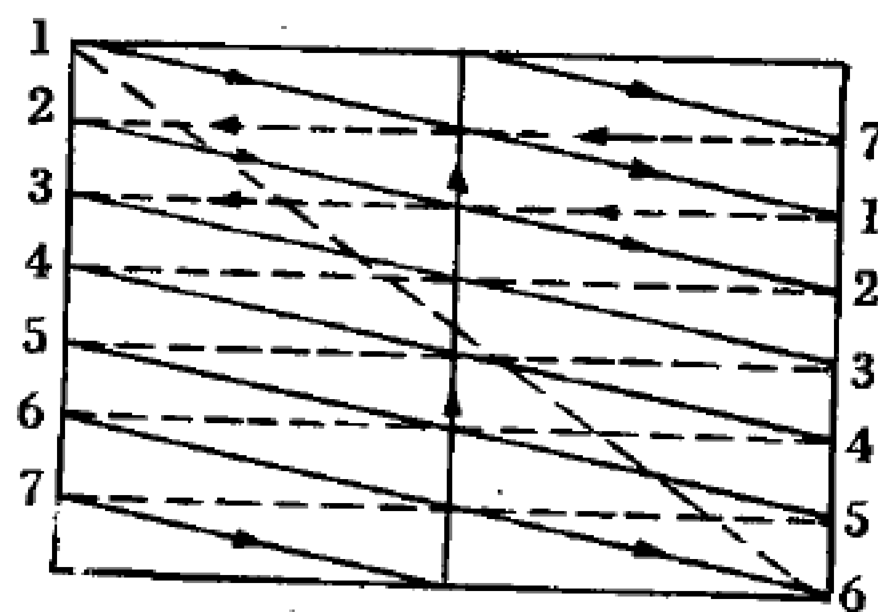


圖11—60
交織水平拂掠

圖11—59及11—60所示掃描圖形的圖框寬與高的比相同。寬與高的比稱爲寬高比（*aspect ratio*），其標準比數爲4：3；也就是寬度爲高度的1.33倍。無論圖框的寬高爲2呎×$1\frac{1}{2}$呎或20呎×15呎，此比數永保持一定。

每一圖框具有525條水平掃描線，每秒圖框以30次的複演率出現，所以每秒鐘的總水平掃描線數爲525×30，也就是15,750條線。因此水平掃描線複演率，或稱爲線掃描頻率（*line scanning frequency*），爲每秒15,750赫。圖框掃描頻率（*frame scanning frequency*）爲每秒30赫，因爲每一框架含有兩個場架，所以場架掃描頻率（*field scanning frequency*）爲30×2，也就是每秒60赫。

掃描是藉電子束的偏向完成，並且發射機與接收機的掃描動作必須同步（*synchronizing*）。爲解決掃描的問題，必須有一個偏向電壓或電流，以推動電子束作水平、垂直及場框的掃描（偏向電壓用於靜電偏向，而偏向電流則用於磁場偏向）。偏向電壓或電流必須以直流方式增大，使掃描線間的距離相等。在掃描到線及場框的終點時，偏向電壓（或電流），也就是返馳需盡可能在最短時間內完成。此種在拂掠時慢慢以直線上升，在馳返時以急速下降的偏向電壓（或電流）波形，其形狀如鋸齒般，所以通稱爲鋸齒波形（*saw-tooth waveform*）。用於水平拂掠（*sweep*）及垂直拂掠的鋸齒波形，示於圖11—61。

用作水平拂掠及垂直拂掠的鋸齒波形，完全是一樣的，只是時間的長短有所不同而已。可允許拂掠一水平線（如圖11—61(*a*)所示）的時間*H*，爲1/15,750秒，或約爲63.5微秒。*H*時間內包含有返馳所需的時間，約爲總時間的0.15，或約爲9.5微秒。另一方面，允許掃描一垂直場框的*V*時間（見圖11—61(*b*)所示）較長些，等於1/60 秒。垂直返馳時間約爲總垂直掃描時

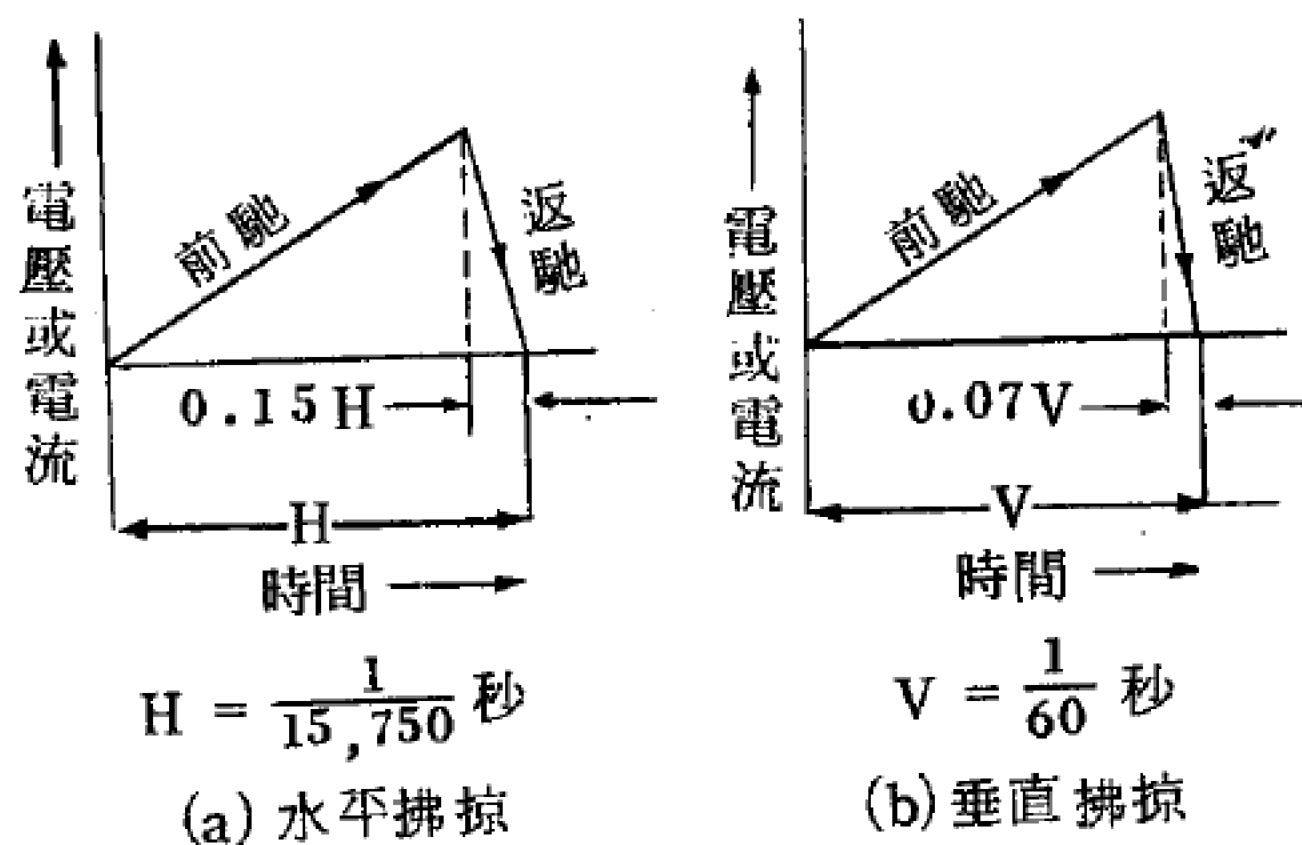


圖11—61
鋸齒波拂掠形

間的 7 %，或 0.07 V。

以直線逐漸上升的鋸齒波形，可藉電流通過電感時，電流的近似直線逐漸上升而得，或藉電壓加於電容器，使其充電，而得電壓的直線的變化，而是成指數曲線波形。解決此非直線的方法，是只利用指數曲線的一段，如此所得的波形就約成直線逐漸上升變化。因此藉一大電阻使電容器部分充電，電容器的端電壓變化，就成為一個近似的直線鋸齒波形。然後在電容器未完全充電而產生指數曲線的曲率前，電容器藉一相當小的電阻放電，電容器的端電壓就急速下降為零，此一電壓下降所生的直線（實際上仍為一曲線）就是鋸齒波形的返馳部分。在實用上，由充電到放電的動作，是藉一個與同步信號有關的電子管振盪器所達成。

【掃描線】（ Scanning line ）

電視螢光幕上一條條連續狹小的線條，供電子管射束掃描之用。

【掃描線數】（ Number of scanning lines ）

線頻與畫面頻率之比值。

【掃描器】（ Scanning device ）

一種測定物體所含放射性同位素之多少，並可決定它所在位置之儀器。

掃描器內有一偵檢管，通常有準直儀作屏蔽，使偵檢管僅接受那些直射進來的輻射線，另外有一部馬達推動機使這部計數器得以緩速地沿直線運動計數輻射。當輻射被計數到我們預定數目（從一個數到好幾個數）的同時，就會有一絲脈波電流帶動墨水筆在圖上打點。當打點至一行末了時，它就自動地跳到下一行再重新開始。如此最後就製成一張掃描器所經區域的輻射計數圖。

【掃描點】（ Scanning spot ）

組成掃描線之無數射線光點稱為掃描點。

【掃調接收機】（ Panoramic receiver ）

能使人看到所感興趣那個頻帶內接收設備的全貌，稱爲掃調接收機。欲達此目的，可在廻路的直線頻率式電容器的軸上連接著一個電動機，帶動電容器不斷地旋轉。這樣一來，所需要的全部頻帶，每秒鐘內便要掃過好幾次。

在這個電動機的軸上，還裝有一個環形電位計的滑動接觸臂，電位計的環形部分則連接到直流電壓的電源上。當電動機旋轉時，與接收機調諧發生變化的同時，從環形電位計上也得出了鋸齒形電壓，這個電壓就用來使示波器中的電子束作水平方向的偏轉。因爲電子束的水平偏轉與接收機的調諧變化是同步的，所以在示波器的屏上，水平軸便能夠劃分成爲頻率的刻度。加到電子束垂直致偏屏上的是接收機的輸出電壓。示波器屏幕上的垂線（尖頭信號）就表示在所收頻帶內的發射機的電波。

傳送頻帶的機械系統甚爲複雜。因此，爲了傳送頻帶而進行的接收機的調諧變化，常常利用差頻振盪器頻率擺動的電氣方法來實現。

爲了上述目的，便利用了電抗管，此種管子是一個隨柵極電壓的變化而變化的等效電容或電感。將電抗管接到差頻振盪器的廻路中，並將鋸齒形電壓加到管子上，就可以使差頻振盪器的頻率作直線性的變化。鋸齒形電壓是利用弛緩振盪器而獲得，此振盪器同時還用來使示波器的電子束作水平偏轉。與機械系統中的情形一樣，大到200仟赫的頻帶內的全部電臺都以尖頭信號的形式，在示波器的屏上顯現出來。

【捷路】（Short circuit）

即短路。

詳閱“短路（*Short circuit*）”條。

【掩星】（Occultation）

月亮行到地球和恆星的中間，恆星爲月亮所遮蔽的現象叫做月掩星。觀測這種現象，可以決定月亮的位置。月掩行星或衞星的時候甚少。

行星掩蔽其衞星或恆星的時候，以及衞星掩蔽恆星的時候，在廣義上當然也叫做掩星；但是機會很少。至於木星掩蔽它的衞星的現象則常常發生，叫做木掩衞星的現象；觀測這種現象，可以決定木星和衞星的位置，還可以硏究它們的蒙氣。

【排空氣量】（Air volume displacement）

空氣膨脹所排去的氣體量稱爲排空氣量，這種排量可用重量或容積表明。

【排氣導管】（Exhaust manifold）

內燃引擎燃燒後排出廢氣時，都會產生噪音，故通常廢氣排洩至大氣之前，都先經過消音器，使廢器膨脹冷卻，降低壓力，以消除氣爆聲。排氣導管便是用來輸導廢氣至消音器的管子。設計排氣管時，必須使反壓力減低得愈小愈佳，排氣管愈短愈佳，並須盡量避免其彎曲度。

【推力】（Thrust）

指由於火箭或噴氣引擎加於太空船上的反作用力，其大小係依燃料之燃燒率及燃燒後噴出熱氣的速率而定。在英美推力多以磅作單位，當在地球發射太空船時，火箭的推力必須比太空船及火箭本身的重量大，才能使其升空，所以如果送較大質量太空船由地球進入軌道時則需用較大推力的火箭，反之亦然。

【推力係數】（Thrust coefficient）

火箭噴嘴爲漏斗型時，如漏斗的噴口面積A_t，火箭反應器內的氣壓是P_c，那麽火箭的推力從彈殼所受不平衡的壓力算來，應是$P_c A_t$，如火箭噴嘴爲喇叭型則火箭的推力加大，用公式來表示：

$$F = C_F P_c A_t$$

式中C_F叫做推力係數，代表氣體在噴嘴內膨脹效用的高低，推力係數隨著氣體的比熱（*specific heat*）、噴嘴的膨脹比、氣體在反應器的壓力、氣體在噴嘴口的壓力以及大氣壓力而變。這數目在1～2之

間。

【推力裝置】(Thrust device)

用以推動太空載具的離子體加速器或磁性水力加速器。單位質量的磁性水力推力裝置可能產生的推力比普通化學火箭的推力大三至二十倍，而離子推進馬達所生之推力幾乎是無限的。

【推力對重量比】(Thrust to weigh ratio)

即火箭推力與太空船全重量的比值。它的數值是很重要的，因爲推力本身並不能表示一個太空船能達到如何高的速率和能被送入何種軌道。我們都知道一千萬磅的推力並不能使一千萬磅的太空船升離地面，就是升高一吋也辦不到，然而當一千萬磅的太空船已經送入軌道後(那時是無重量)，幾磅的推力加於此太空船一段時間後卻足以使它獲得很大速度。以農神五號(*Saturn V*)爲例說明如下：農神五號和阿波羅太空艙(*Apollo spacecraft*)在地面上發射時共重約爲6,000,000 磅，第一節火箭有 7,500,000 磅衝力，那時它的衝力與重量比爲5：4，此數值當農神五號升空後即有更改，因火箭升空後燃料之消耗減低了火箭的重量，所以只要很小的推力便可以維持其運轉。

【推斥交互作用】(Repulsive interaction)

當二原子相互接近時，圍繞它們周圍的電荷分佈會互相重疊而改變這系統的能量。由庖立不相容原理(*Pauli's exclusion principle*)可知任何二個電子都不能同時佔有相同的量子態，而當二原子的電荷分佈重疊時，其中一原子的電子有佔據已被另一原子的電子所佔有的量子態的趨勢，反之亦然，所以由不相容原理知當原子的閉合軌層的電子分佈互相重疊時，其部分電子必移至未被佔據的較高能態，所以電子分佈重疊能增加整個系統的能量，即是產生推斥交互作用。

【推挽式放大】(Push-pull amplification)

又名平衡放大，將兩個同樣的信號電壓分開供給兩管，在工作時反

相，可以增大輸出電力。

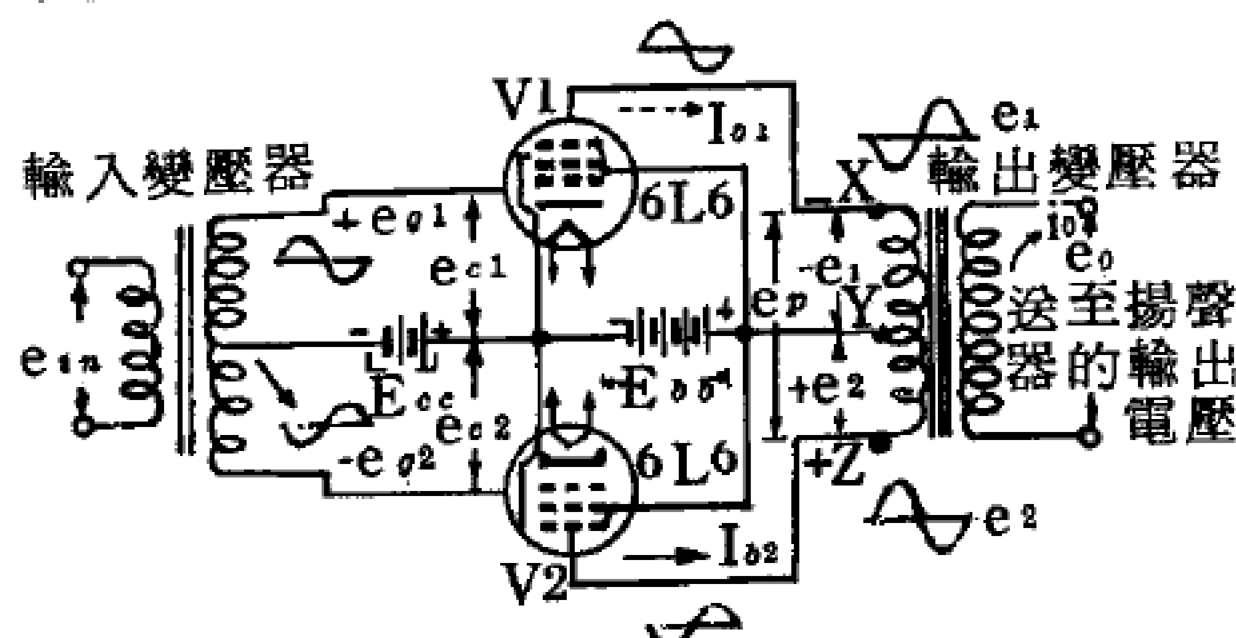
【推挽式放大器】(Push-pull amplifier)

在電子管的電路，為了得到較大的輸出功率，可將兩個同樣的電子管並聯，使其屏極與屏極相連，陰極與陰極相連，控制柵也與控制柵相連，如此所構成放大器的功率輸出，約為一個電子管放大器輸出功率的二倍，但所引起的失眞(*distortion*)也增加。另外一種極好的方法，就是將兩個同樣電子管的控制柵，接在兩個完全相同的輸入信號上，但兩輸入信號的相位相反，同時此兩電子管的屏極接在一個中央抽頭的輸出變壓器上。圖11－62(*a*)就是照上述方法所接成的電路，稱為推挽式放大器，又稱為推挽式功率放大器，推挽式放大器也可以得到同樣良好的效果，推挽式放大器的最大優點是能使輸出信號電波中，所有的偶數諧波除去，因此電路中，每一個電子管在一定而被容許的失眞程度內，可得較大的功率輸出，所以推挽式放大器的輸出功率，較同樣電子管功率放大器的輸出功率大兩倍，並且失眞反而減小。例如，一個6*L*6電子管的放大器，在屏極直流作用電壓為250伏特的最佳作用條件下，輸出功率為6.5瓦特，總失眞為10％。但圖11－62的6*L*6電子管甲類推挽式放大器電路的作用條件，與上述單管放大器的例子相同，然而推挽式放大器的功率輸出為17.5瓦特，總失眞為2％。

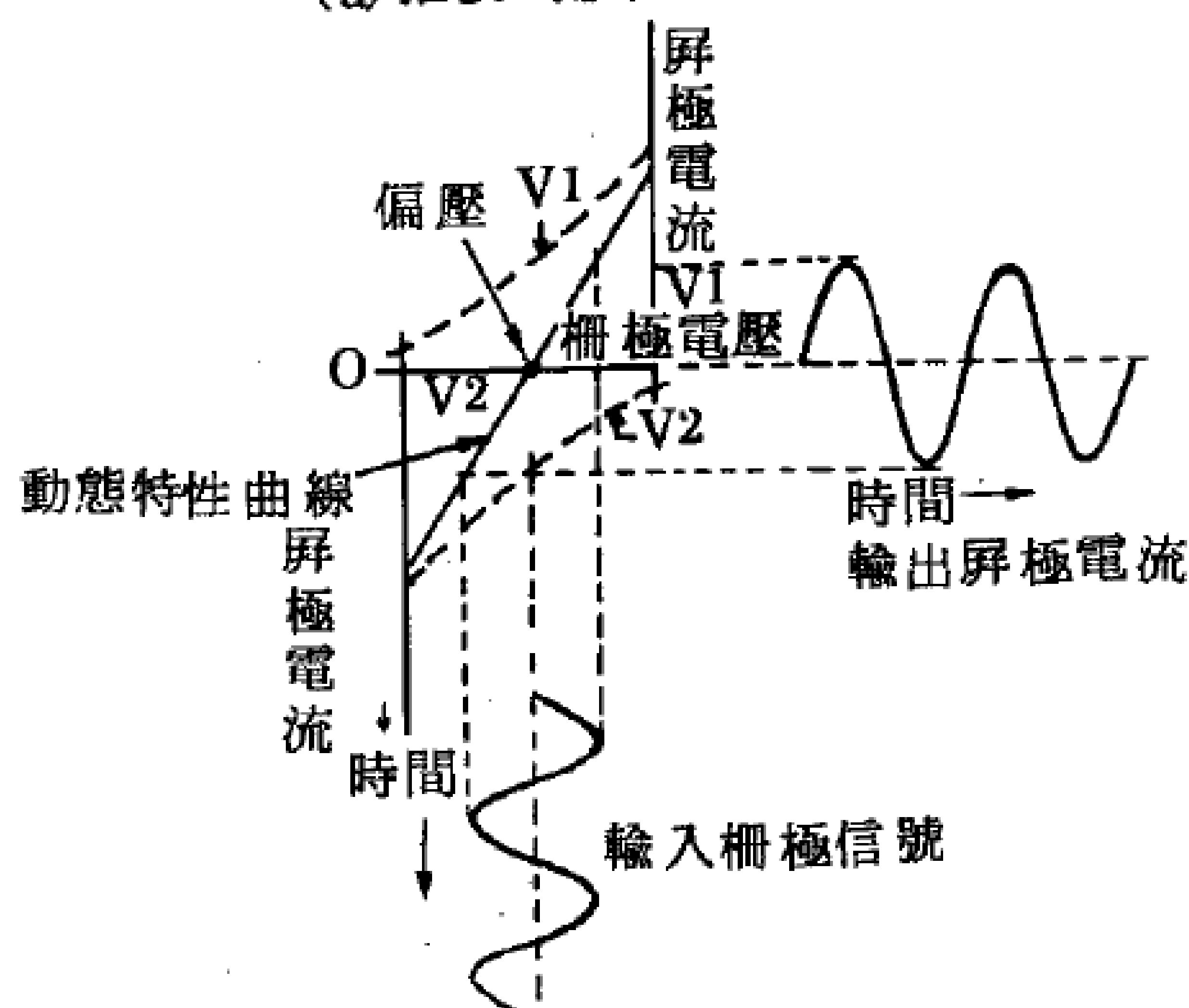
為使電路簡單而易了解起見，圖11－62的偏壓(*bias*)及屏極直流電源電壓，均由電池提供，但在實用電路上，屏極及簾柵直流電源電壓，都是由整流器所供給。控制柵的直流偏壓則由陰極偏壓電阻所供給，而此偏壓電阻是接在推挽式放大器兩陰極的公共電路上。由於推挽式放大器陰極公共電路上，沒有交流信號電流存在，所以在偏壓電阻上不必並聯一個旁路電容器。

推挽式放大器的兩個輸入信號等幅，而相位相反，此兩反相的輸入信號(e_{g1} 及 e_{g2})是由一個中央抽頭的變壓器所供給(如圖11－62

(*a*)）。變壓器二次線圈的上端對中央抽頭點如是正電壓，則下端對中央抽頭就是負電壓，反之亦然。



(a) 推挽式放大器電路



(b) 合成特性曲線

圖11—62

如果爲了增進放大器的頻率響應，而用電阻耦合（不用中央抽頭的輸入變壓器），所需的兩個反相輸入信號電壓，就需由倒相器（ *phase inverter* ）提供。圖11—62(*a*)的兩個輸入信號電壓的和，必定是一個電子管的輸入信號電壓的二倍，並且電源電壓（ E_{bb} ）必須同時向兩個電子管的屏極及簾柵提供作用電壓，使兩個電子管作用在相同的條件下。

如果兩個輸入信號電壓同時爲零，兩個電子管的屏極靜態電流（ I_{bc} ）相同，並且在輸出變壓器二次線圈端的輸出電壓及電流也是零。再者，兩個屏極靜態電流向輸出變壓器流的方向相反，因此在變壓器內沒有磁化電流（ *magnetizing current* ）存在。如果輸出變壓器中有磁化電流，將使電感下降，在此情形下如需得到高電感，就必須用一個大鐵芯的大變壓器作輸出之用，如此既重而又不經濟。

推挽式放大器的兩個電子管都有正弦輸入信號電壓時，兩屏極電路就有正弦屏極電流 I_{b1} 及 I_{b2} 出現。由於兩輸入信號電壓（ e_{g1} 及 e_{g2} ）反向，所以兩個屏極電流（ I_{b1} 及 I_{b2} ）也相互反向（一爲正電流，另一則爲反電流，反之亦然）。假設最初 e_{g1} 爲正，而繼續在增大時，

電子管$V1$的屏極電流I_{b1}也隨之增大，功率輸出變壓器一次線圈上半部的電壓降也增大，因此電子管$V2$的屏極端電壓降低。結果功率輸出變壓器一次線圈的上端X點（與屏極同點）的電壓對變壓器一次線圈的中點Y而言是負的。

同時電子管（$V2$）的控制柵電路有負輸入信號電壓e_{g2}送入，其屏極電流I_{b2}下降，功率輸出變壓器一次線圈下半部分的電壓減小，所以電子管$V2$屏極端電壓上升，結果圖11—62(*a*)Z點對中點Y的電壓是正的。

由以上分析顯示，一次線圈上端對中點的電壓爲負電壓e_1，下端對中點的電壓則爲正電壓（e_2），此兩電壓的代數和，就是變壓器一次線圈上下兩端的端電壓e_p，和電壓e_p的振幅是e_1（或e_2）的二倍。一次線圈端的總電壓e_p經感應在二次線圈端成爲輸出電壓e_o及通過揚聲器的輸出電流i。當半週波過後，所有輸入電壓及輸出電壓的極性完全改變，雖然電壓e_p仍等於e_1加e_2之和，但其相位已呈現180度的改變。

推挽式放大器功率及失眞的分析是相當複雜的，但其基本動作已顯示在兩電子管之合併動作轉移特性曲線中（如圖11—62(*b*)）。只要將兩電子管的動態轉移特性曲線合併就可得到圖11—62(*b*)，合併而成的動態特性曲線幾乎是一個完美的直線，由於放大器是甲類放大，所以屏極輸出電流的波形，可以說是沒有失眞存在。

除了失眞小外，推挽式功率放大器還有下列優點：

1. 輸出變壓器的鐵芯不會因直流電流經其一次繞組而產生飽和現象，這是因爲在一次繞組的兩部分中磁化方向相反，使磁力線彼此抵銷的緣故。

2. 任何由於屏極電源供應器而產生的交流聲電壓能相互抵銷。

3. 因爲在B+中屏極信號已相抵銷，所以不會再在功率管屏極上有信號經B+反饋至其他放大器。這亦就是說，因爲信號在陰極電阻器上相

互抵銷，所以不需要任何旁路電容器。

【推挽式並聯電路】(Push-pull parallel circuit)

包括四管的電路，分作兩組，每組屏柵各自並接，又每組作一管接成推挽式，可輸出大電力。

【推挽式振盪器】(Push-pull oscillator)

包括兩個電子管的振盪器，其連接法及相位關係一如推挽式放大器。

參閱"推挽式放大器 (*Push-pull amplifier*) "條。

【推挽式傳聲器】(Push-pull microphone)

傳聲器包括兩個相同的機件，但工作時反相者。

【推挽式變壓器】(Push-pull transformer)

在推挽式放大器電路之聲頻鐵芯所使用之變壓器。

【推挽偏向】(Push-pull deflection)

陰極射線管藉推挽作用，輸至偏向屏一等量而反向之電壓。

【推挽電路】(Push-pull circuit)

由兩個相同的電路按一定方式連接而成的電路，其連接應使得流過兩個電路的電流大小相同而相位相反。應用很廣的是電子管推挽電路，其中之一便是低頻推挽放大級。現在將這個電路的工作情況敍述如下：由輸入變壓器線圈端點加於兩個電子管柵極上的電壓，大小相等，相位相反。因此屏流變化的相位也是相反的。但是在輸出變壓器兩半個初級線圈內，兩個電子管的屏極電流卻是以相反方向流通，即是說變壓器鐵芯內的磁通是由兩個屏極電流的差值來決定。若兩個屏流相等，則合成磁通等於零。但如果在兩個電子管的柵極加以交變電壓，則一個管子的屏極電流增加，而另一管子的屏流

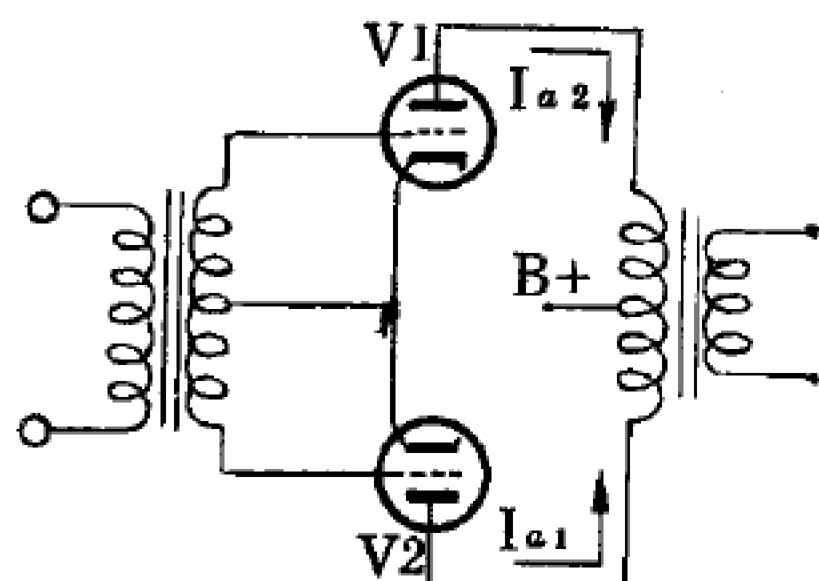


圖11—63

卻是減少，鐵芯內的磁通便會增長到兩倍（與由一個管子所生的磁通相比較）。由此可見，在推挽電路的輸出變壓器中，工作時沒有恆定磁通成分，因而其鐵芯就不會有磁飽和的現象。

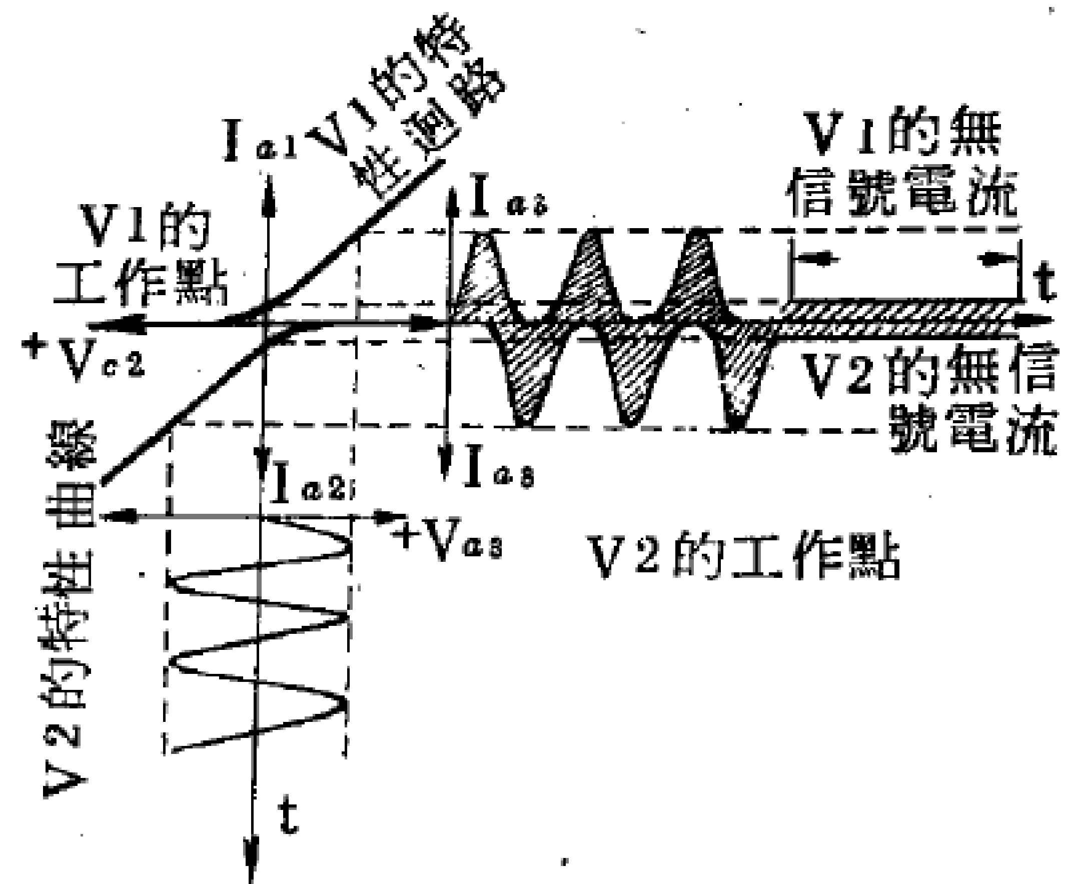


圖 11—64

推挽放大電路的基本特點在於工作點可以選擇到靠近管子特性曲線的下部彎點，亦即電子管可以工作於*B*類而沒有顯著的失眞。這種情況可作如下解釋：在推挽電路中，每個電子管的特性曲線彷彿是另一個電子管特性曲線的延長線（在半週時間內，一個電子管工作，在另半週時間內，第二個電子管工作），如果兩條特性曲線相同，則它們好像是形成了一條更長的直線特性曲線，該線的中部便是兩隻管子的工作點。電子管屏流的直流份量比工作於*A*類的電子管要小得多（因爲每個管子都工作於特性曲線的下部彎點的附近），因而電源功率的消耗也比工作於*A*類時小得多。換句話說，即推挽放大電路的效率遠高過於單管電路的效率。因此推挽電路在低頻功率放大級中獲得了廣泛的應用。它也可應用於別的方面，如在自激振盪器裏。

【推進與阻力】（Propeller and resistance）

飛機欲飛得快飛得經濟，需要注意推進器與阻力的問題。

推進器主要的有兩個問題：(1)是如何產生大量的能量；(2)是如何利用這些能量使飛機推動前進。能量的產生也就是燃燒的問題。如何使燃料所儲藏的化學能，在可以控制的情形下，最有效最快地變成機械能。將來如用原子能，原則上也是能量轉換的問題。燃料的燃燒是一化學問題，也是一流體力學的問題。燃燒、爆炸以及火焰的結構與運動等都是很有意思的流體力學之問題。

有了機械能，並不一定就能使飛機前進。要使飛機朝某一方向前進，必須使飛機獲得這一方向的動量。以汽車而言，這動量是從輪子與地面的摩擦得來的。就像我們走路一樣，腳踏在地上，向後一頂，人就向前了。所以，這動量的來源可說是一種反應力。以飛機的推進而言，其動量的來源也是一種反應力，只是形式略有不同。無論是螺旋槳，或者是噴射器，都可說是因為飛機向後噴出了動量。因為它向後噴出了動量，根據動量不滅定律，也就等於向前獲得了動量，這一點在噴射器方面較容易瞭解。其實，從螺旋槳原理，也可以知道螺旋槳的作用，也是在製造向後噴射的動量。在螺旋槳附近，空氣的流動大約可以圖 11 — 65 來表示。假定Q是單位時間內流過螺旋槳的總質量。單位時間內向後噴射的動量淨值就是$Q(U+u)-QU=Qu$。另一看法是，空氣在流過螺旋槳後，單位時間內增獲了向後的動量Qu，因此由於動量不滅定律，飛機必定獲得了向前的動量Qu。螺旋槳原理的研究，當然不僅對飛行有用，對輪船的推動也有用。這是流體力學中的一個老而複雜的問題。雖然技術上已有很大的發展，而且也用得很廣泛，但對螺旋槳原理的瞭解，尚不完全。

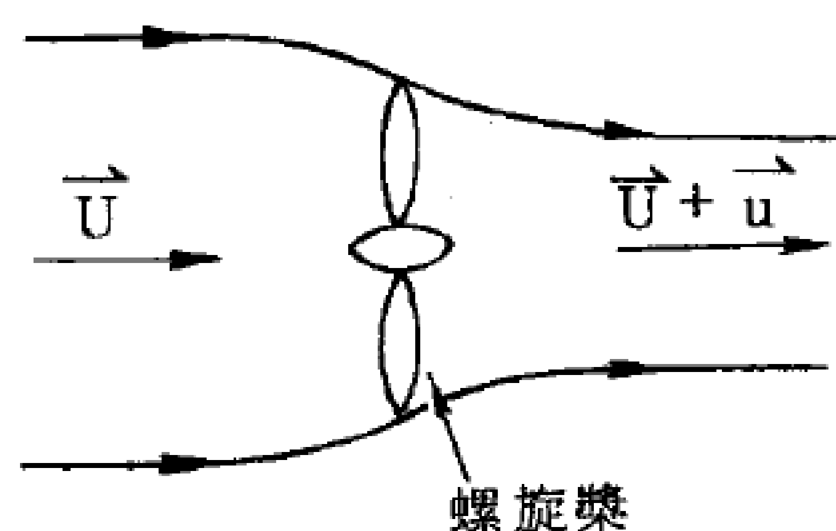


圖 11 — 65

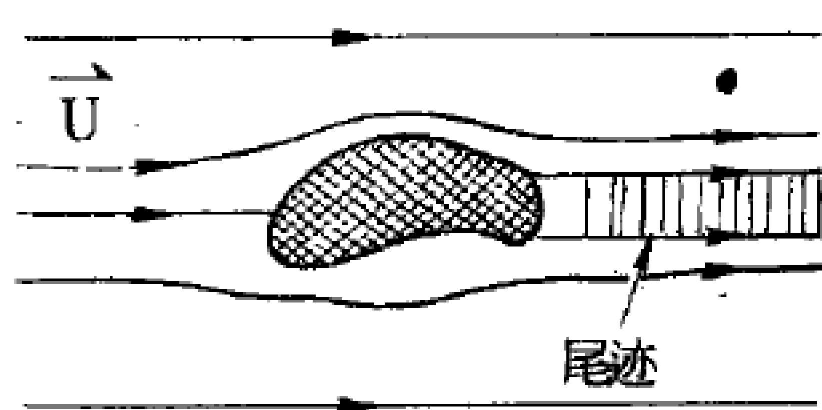


圖 11 — 66

飛機在飛行時所受的阻力，可以分做兩部分：一種可以叫做氣壓阻力，另一種可叫做摩擦阻力。流體有黏性，所以任何物體若與流體有相對的運動，就會因摩擦而生阻力，物體與流體的接觸面積愈大，這摩擦阻力也愈大。但兩個有同樣表面面積的物體在流體中運動，如果形狀不同，其所受阻力，往往也不同。一塊平板，沿板面方向而動的阻力，就比垂直板面方向而動的阻力小得多，這是

因爲氣壓阻力不同的緣故。氣壓阻力的產生，與流體的黏性也有密切的關係。因爲如果流體沒有黏性，從達朗白（*D' Alembert*）論的討論中，可知飛機上雖然每一點都受氣壓，但前後氣壓正好抵銷，所以總阻力是零。但流體如有黏性，則物體的後面會形成一尾迹。在這尾迹中，流速就比$\vec{U}$小（如圖 11—66）。這就表示，對這飛行的物體而言，它是一直在淨收向後的動量。也就是說在遭遇向前的阻力。從另一觀點看，當有這尾迹時，物體前方的氣壓就大於後方的氣壓，所以就有阻力。這也是爲什麽我們叫這種阻力爲氣壓阻力。這種氣壓阻力雖然不是直接來自流體的黏性，卻是間接由於流體的黏性。大體而言，尾迹愈寬，氣壓阻力愈大；尾迹愈窄，氣壓阻力愈小。一般所謂流線型的物體，就是物體外形在運動時，與流體的流線極其接近，此時其尾迹就非常窄，因而氣壓阻力也很小。在這種情形下，達朗白論就幾乎是對的。此因一則阻力實在很小，二則流體黏性的效果，幾乎可以忽略。

【推遲場】（Retarded field）

在時間 $t-\dfrac{|R|}{C}$ 時，位置在$\vec{r}-\vec{R}$處的電荷流所產生的電磁場。

【推遲電位】（Retarded potential）

由位置$\vec{r}-\vec{R}$與時間 $t-\dfrac{|R|}{C}$的電荷所產生的電位。

【推遲器】（Retarder）

任何具雙折射率差材料製成的推遲器，其推遲度隨波長作劇烈的變化，換句話說，這種推遲度是屬於色性的（*chromatic*）。推遲度隨波長的倒數而變，通常用度數或週期表示。一般對藍光而言，其推遲度約大於紅光的百分之三十到五十左右。

利用推遲度隨波長變化的原理，我們可以製造許多美麗和實用的色彩效應。爲了達成此種效應，通常可使用一個推遲器和兩個線起偏器，讓光束從第一個起偏器上入射，通過中間的推遲器，再穿過一個起偏器。第一個起偏器把光束中所有的分量（包括所有波長、所有顏色的光）

一致偏振，而推遲器的特性是：不同波長的光波造成不同的推遲度，使產生的偏振型式因波長而異。如果它的旋轉量恰好使透過的綠光其偏振型式正好被下一個起偏器完全吸收，則出射的光束中便不再含綠光。光譜中其他色光也同樣的受到各種程度的轉換，但並不完全被吸收，所以使得出射光線只剩藍色光與紅色光而不含綠色光，結果顯示出的光色爲紫色。假如我們再把推遲器旋轉至另一角度時，他種顏色的光便完全被吸收而使某種顏色的光透過，因此產生各種五彩繽紛的光色。

假如我們非用雙折射性推遲器不可，則非色性（*nonchromatic*）光的製造是非常困難的，因爲我們首先必須找出或造出一種材料，它的雙折射率差 J 直接正比於波長，使得推遲度 Jt/λ 與波長無關，其原理很簡單，但實際製作的問題至今仍未解決。

具有圓型雙折射的推遲器，其固有向量僅限於右旋與左旋圓偏振，也就是說：右旋與左旋圓偏振通過推遲器後不改變其偏振型式。橢圓型推遲器亦具有固有向量，它們是二個型式相同，大小相等但旋性相反的橢圓偏振型式，並且彼此的長軸也互相垂直。將圓型推遲器轉至新角度時並不改變其固有向量，因爲圓型在任何轉位下看來都相同。

對於單色光而言，幾個推遲器串聯在一起時，發生的總效應可相當於單一個推遲器所產生的，任何型式的偏振光可藉著單一推遲器的功用而將之轉換成某一特定的偏振型式，換句話說，沒有任何的轉換不能由一個推遲器去完成的。一系列的推遲器可以產生各式各樣的偏振型式轉換，實驗者也可以找到一個推遲器去完成同樣的事。

【教學用核反應器】（Teaching nuclear reactor）

這是一種小規模的，低通量的反應器，它是被設計用來做教學輔助用的，也可以作一些有限的研究工作及生產放射性同位素。在市場上，可見到幾種不同的形式。有些教學反應器可以按照預先的安排分開裝箱，隨時運送到適當的實驗室內，然後準備再結合起來，另外還有些稍微

更精緻點的以及用途更廣些的。

【斜向拋射】(Oblique projectile)

將一物體斜著向上拋射時，則該物體是在一曲線軌道上運動。此一運動是由一個取循拋射方向前進的等速運動和一個同時發生之自由下落的運動所合成。我們若將各軌道點予以繪出，便得到如圖11 —67所示之拋物線。該曲線起初是斜著向上，然後始到達一最高點。在此點上，物體之瞬時速度純爲水平方向的速度。因此，在過了最高點以後，此曲線乃與水平拋射的軌道相符。拋物線之兩邊則以通過最高點的垂線爲對稱軸。線上最高點和經過起點的水平面二者之間的距離稱爲上升高度。而從拋物線和此一水平面相交之點算至運動起點之間的水平距離則稱爲射程。到達此一交點時的速度乃與初速相等，故和垂直拋射的情形完全一樣。

射程及上升高度悉視初速與發射角度而定。圖11 — 67所示，乃是初速相等而發射角度不等時的各種上升高度和射程。發射角等於90°時，則變成垂直向上拋射；在此種情況之下，雖可得到最大的上升高度，但射程則等於零。發射角度逐漸減小時，上升高度亦隨之減小，這也就是愈接近於平向射擊。到了發射角等於0° 時，則又變成水平拋射，上升高度遂等於零。至於射程則略有不同。發射角度逐漸減小時，射程起初是逐漸增大，及至發射角等於45°時則達到最大值(最遠射程)。發射角到了45°以內而再繼續減小時，則射程亦隨之減小。發射角小至 0°，也就

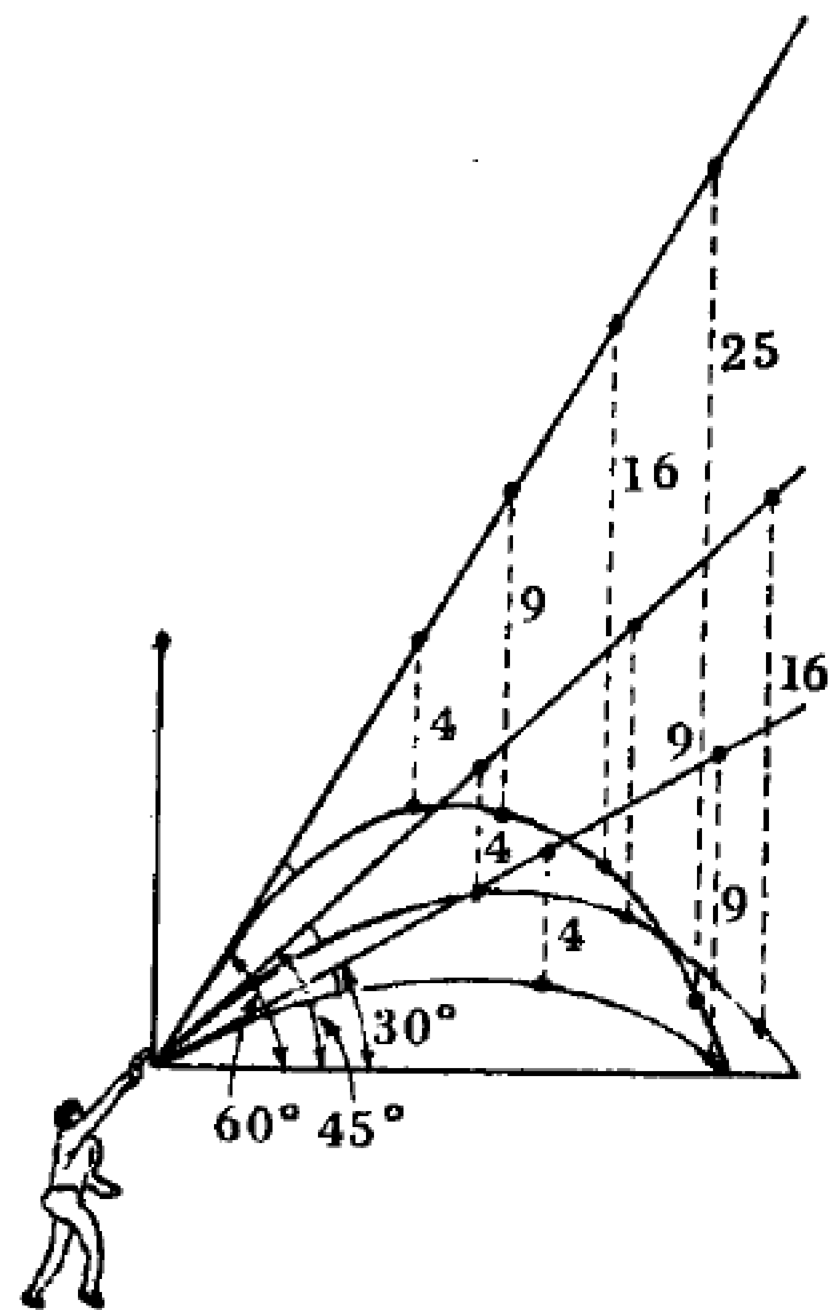


圖11— 67　斜拋射
初速相等，發射角度各爲90°、60°、45°、30°時的軌道曲線。45°時的射程最大。高射(60°)和平射(30°)均可到達同一目標。

是在平射時，則就通過發射點的水平面而言，射程亦等於零。因此，我們可以取用兩個不同的發射角而得到同一射程。譬如在30°及60°時即係如此。一般言之，我們如果採用兩個互為餘角的發射角時，則得到的恆為同一射程。這也就是說，我們恆可採用同一初速，而以平射和高射兩種方式擊中同一目標。

利用水之噴射，可以顯示出很完美的水平拋射軌道和斜向拋射軌道（圖11—68），前後相繼之各水滴均經歷同一軌道，構成一拋物線狀的連續射線。至於欲使水的噴射速度保持不變，則可應用馬若特瓶達成之。

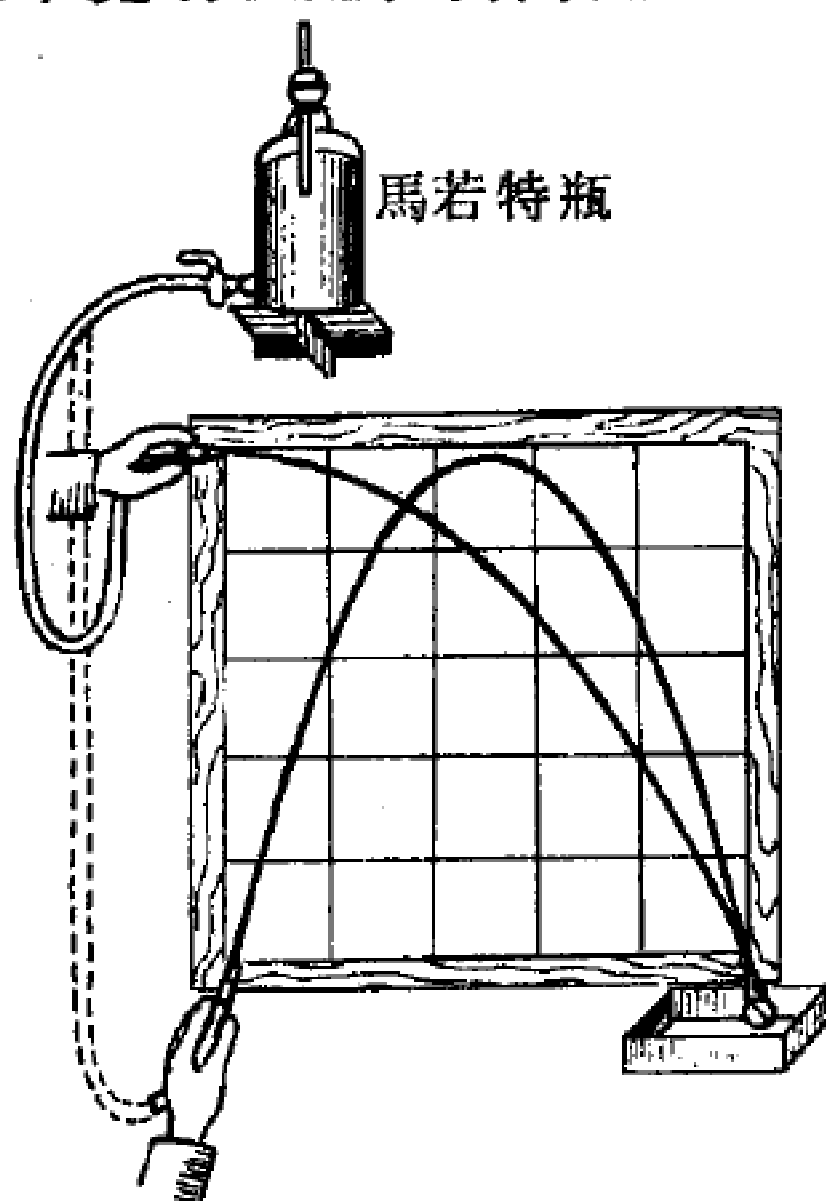


圖11—68
水之噴射拋物線。以水之噴射證示水平拋物和斜向拋線。應用馬若特瓶可達到壓力相等也就是初速相等的目的

初速龐大之砲彈，其實際軌道與拋物線之狀頗有差別。蓋砲彈速度愈大時，空氣阻力亦愈大；此項阻力徹底改變了理論上的計算結果。於是，拋射曲線乃不復為拋物線，其下落的一段要比上升的一段曲線（彈道曲線）較為陡峭。而射程和拋射高度也並非和理論上的數值相接近。有趣的是，高射比平射更能達到較遠的射程，甚至比45°的發射更遠，這是由於上空的空氣阻力小於下層的空氣阻力所致。1918年，德國的21厘米克魯伯砲就是以高射達到125仟米外之最大射程的目標，砲彈的重量約為100仟克，發射角為50°，砲彈在3分鐘內走畢全部彈道行程，上升高度則超過 40仟米。

若以數學公式來表示斜向拋射；設以初速 v_0 與水平方向成 θ 角斜向拋出一物體，則有以下結果：

1. 經時間 t 後之速度 $\overrightarrow{v}$

水平分速：$v_x = v_0 \cos\theta$（即拋出時，初速 v_0 在水平方向之分速度。）

鉛直分速：$v_y = v_0 \sin\theta - gt$

速度 $\vec{v}$ 之大小：$v = \sqrt{v_x{}^2 + v_y{}^2}$

速度 $\vec{v}$ 之方向：$\theta = \tan^{-1}\dfrac{v_y}{v_x}$（$\theta$ 爲 $\vec{v}$ 與水平方向之夾角）

2.經時間 t 後之位移 $\vec{S}$

水平分位移：$x = (v_0 \cos\theta)\,t$

鉛直分位移：$y = (v_0 \sin\theta)\,t - \dfrac{1}{2}gt^2$

總位移 $\vec{S}$ 之大小：$S = \sqrt{x^2 + y^2}$

總位移 $\vec{S}$ 之方向：$\theta = \tan^{-1}\dfrac{y}{x}$（$\theta$ 爲 $\vec{S}$ 與水平方向之夾角）

3.軌跡爲一拋物線，其方程式爲

$$y = x\tan\theta - \frac{x^2 g}{2\,v_0^2\cos^2\theta}$$

4.頂點要點

上升至頂點所需之時間：$t = \dfrac{v_0 \sin\theta}{g}$

頂點之高度：$H = \dfrac{v_0^2 \sin^2\theta}{2g}$

5.飛行時間，由地面拋出至落回地面所需之時間，設其爲 T

$$T = \frac{2v_0 \sin\theta}{g}$$

由地面拋出至頂點所需之時間等於由頂點落回地面所需之時間。

6.水平射程爲由地面拋出至落回地面所經之水平距離，設其爲 R

$$R = \frac{v_0{}^2 \sin 2\theta}{g}$$

當 $\theta = 45°$，即 $\sin 2\theta = \sin 90° = 1$ 時，R 之值爲最大，等於 $v_0{}^2/g$。

【斜面】（Inclined plane）

凡和水平面成傾斜角度的平面，稱爲斜面。用斜面可以輕易地把重

的物體引上較高的地方。如圖 11 — 69 所示，沿斜面 AB 要把重 W_0 的物體拉上時，如假定斜面無摩擦力，拉上去的力 F 爲

$$F = W_0 \times \frac{BC}{AB}$$

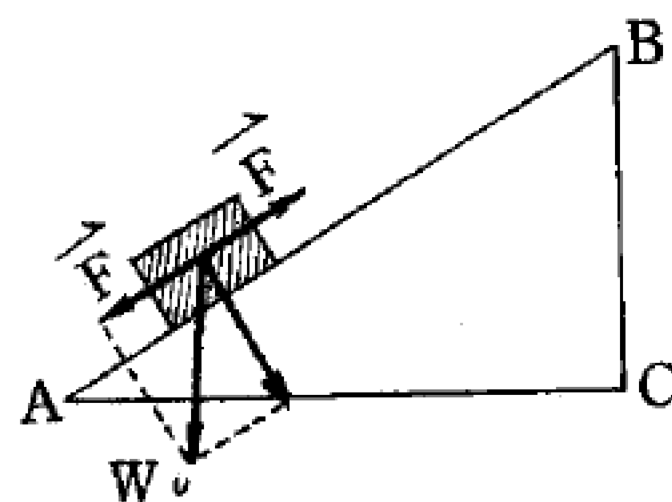


圖 11 — 69　斜面與功

用此力由 A 拉到 B 時，所作的功 W 爲

$$W = F \times AB = (W_0 \times \frac{BC}{AB}) \times AB = W_0 \times BC$$

與不用斜面，直接由 C 拉升到 B 時所作的功（$W_0 \times BC$）相同。但用斜面可省不少力。

以 F 之力將 W_0 重的物體由 A 曳到 B，其所作的功爲 $F \times AB$，但同時物體的位置升高 BC，對於重力所作的功爲 $W_0 \times BC$。由功的原理知：

$$F \times AB = W_0 \times BC$$

$$\therefore \text{機械利益} = \frac{W_0}{F} = \frac{AB}{BC}$$

故斜面愈長，機械利益愈大，所需的力也愈小。高大建築的樓梯，多爲盤曲形；曳重物上高坡，也多盤曲而上，不作直線進行；都是要增加斜面的長，以求省力之故。

【斜面運動】（Inclined motion）

物體沿斜面滑下時，亦爲等加速運動，其加速度 a 爲重力加速度 g 之分加速度，如圖 11 — 70，將 g 分解爲二分加速 a 及 n，n 與斜面垂直，因受斜面之阻止，不能發生運動。a 與斜面平行，使物體沿斜面順滑而下。設斜面之傾斜角爲 θ，則

$$a = g \sin\theta \qquad n = g \cos\theta$$

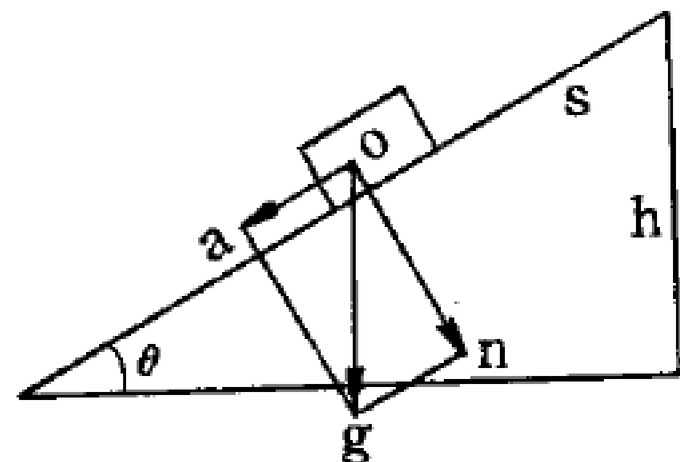


圖 11 — 70

將 a 之值，等加速運動公式則得

$$V^2 = V_0^2 + 2g\sin\theta \cdot s$$

上式中，s 即爲斜面之長，設 h 爲斜面之高，則

$$\because h = s \sin\theta$$

$$\therefore V^2 = V_0^2 + 2gh$$

即物體沿高 h 之斜面上滑下，所得之末速度，與自高 h 之處，以同一初速度 V_0 拋下時，所得之末速度相等。

因 a 小於 g，且 θ 愈小時，a 亦愈小，故運動頗爲遲緩，即便研究，若物體自由落下或拋下時，加速度 g 之值甚大，則其運動情況頗難實測。

【斬波器】(Chopper)

自反應器引出的連續中子射束其能量分佈甚廣，斬波器的作用乃將此連續中子射束切成極短之脈波，然後再藉飛行時間方法，由下式決定中子之能量

$$t = \frac{72.3L}{\sqrt{E}}$$

式中 t 爲時間以百萬分之一秒 (μ sec) 爲單位，L 爲中子飛行的長度 (米)，E 表中子能量 (eV)。

很多在中子能量爲 KeV 以下，熱中子能量以上，各中子與物質作用的研究均利用斬波器。

斬波器可大約分爲慢斬波器與快斬波器兩種：在慢斬波器中以鎘 (Cd) 作屏蔽材料，適用範圍爲中子能量低於 0.25 eV 者；快斬波器則含有較重的物質，如鐵 (Fe)、鎳 (Ni) 等，其轉速亦較快，所產生脈波寬度達 10^{-6} 秒。

【旋光性】(Optical activity)

當平面偏振光在石英內沿其光軸進行時，我們發現偏振面在繞光軸方向作穩定的旋轉，如圖 11 — 71，射出的偏振方向並非射入的方向。由實驗得知旋轉的角度決定於光在介質中所行的距離和光的波長。這種偏振面的旋轉現象稱爲旋光性。具有旋光性的物質很多，如辰砂、氯酸

鈉、松節油、結晶糖、石英等。

旋光性爲在一外振盪磁場作用下，分子中或晶體中之電子軌道扭曲所產生的結果。若原子之電子在一直線上振盪，等向性物質則平行於電場，異向性物質則與電場有一夾角。然而某些分子及晶體中，其電子是沿著一扭曲路徑運動，此即其螺旋軸垂直於傳播方向且平行於來波之電場或磁場。



圖 11 — 71

有些物質使振動面向右旋，有些則向左。前者稱爲右旋物；後者稱爲左旋物。而所謂右旋乃面對光進行方向所見振動面順時針方向旋轉者；左旋則反時針方向旋轉。

某些物質只在固態時才顯出旋光性，許多無機晶體，特別是石英以及一些有機晶體，如乙苯基乙二酮（ *benzil* ）都是屬於這類型的，一旦熔融、溶解或蒸發，這些物質就失去其旋光性，此顯示這些物質的旋光性視原子或分子在晶體中之特殊排列而定，當在液體或氣體狀態分子之方向不定時，這些排列就消失了。其他物質，如松脂、糖、樟腦及酒石酸，在所有物理狀態及在溶液中仍然有旋光性，屬於這一類型的物質，其旋光性與各個分子有關，而與其相對之排列無關。

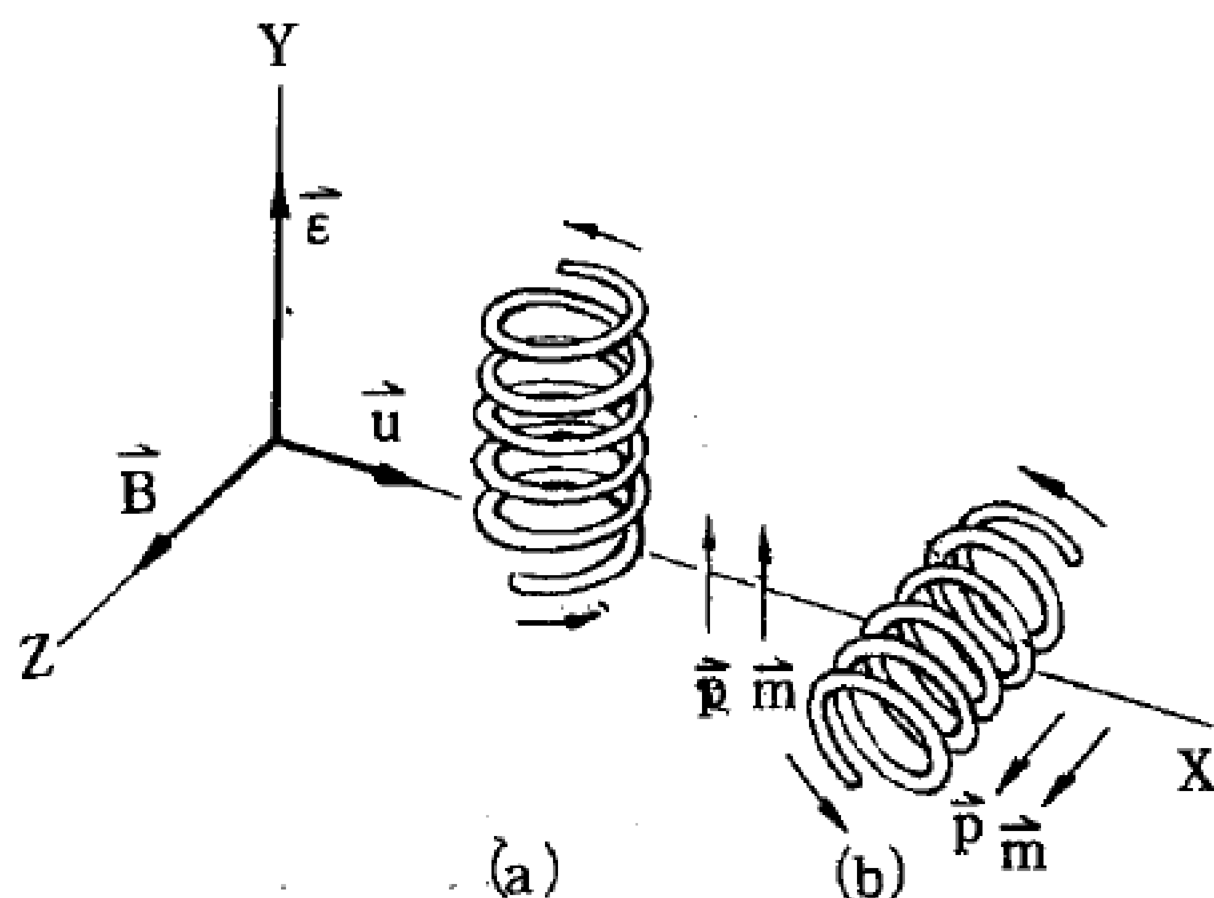


圖 11 — 72
一電磁波在一螺旋形分子中產生之電偶極矩及磁偶極矩

某些物質含有二類鏡像分子，此性質稱爲立體異構形態（ *stereoisomerism* ），例如，乳酸分子


$$CH_3 — COH_2 — CO_2H$$

可爲二鏡像形式之任一種，如圖 11 — 73 所示，一乳酸樣品含等量之二類分子就無旋光性，但若一類比另一類多，則有一淨轉動。

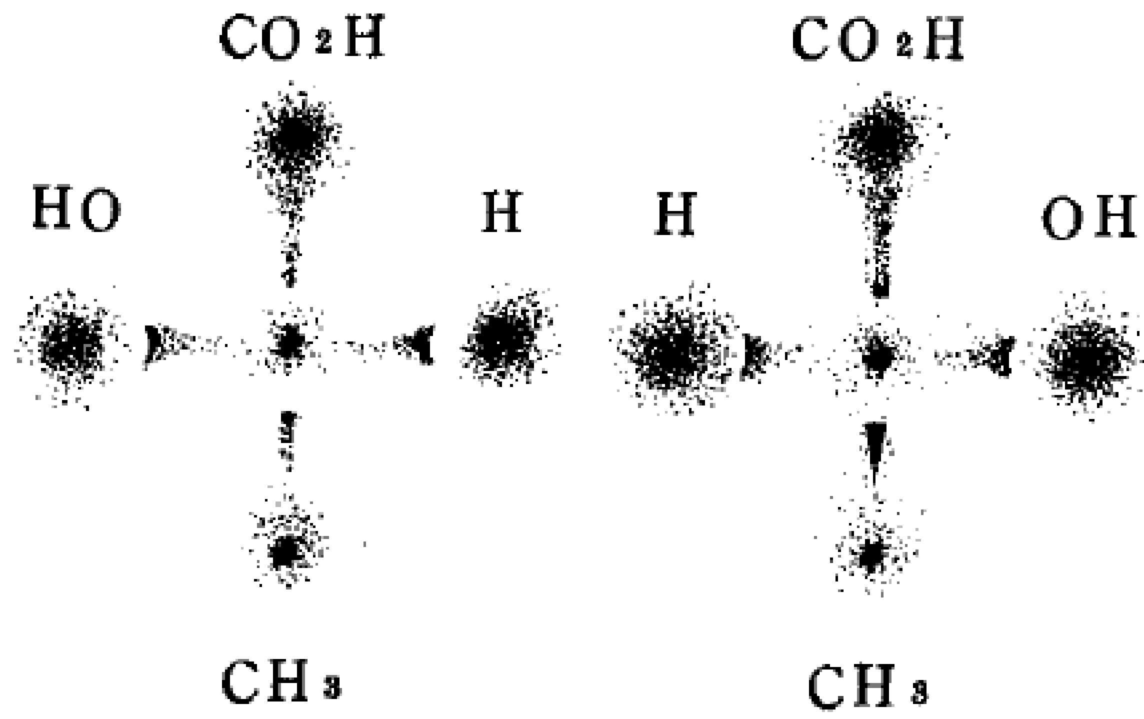
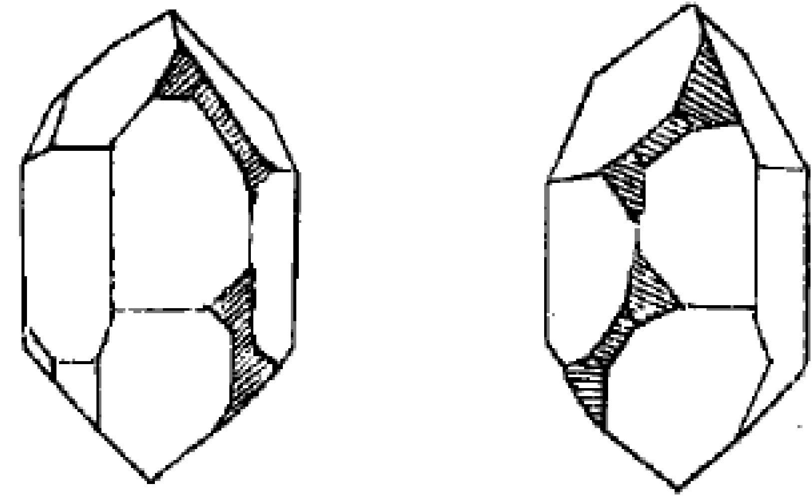


圖 11 — 73 乳酸之鏡像形態

若爲石英（SiO_2），其分子全相同，但其在晶體中之空間排列爲一左手式對稱或一右手式對稱，從圖 11 — 74 所示之二類石英晶體的外表可明顯看出，一爲左而另一爲右。當晶體融解時，分子的排列破壞，旋光性也跟著消失。


圖 11 — 74
石英晶體之鏡像形態

當一物質之分子有旋光性，如乳酸、左旋糖（果糖）、右旋糖（葡萄糖）等等，溶於水中時，偏振平面的轉動視濃度而定，這個結果常用以確定溶液中物質之數量，如在一糖漿中或尿中含糖的濃度。

某些物質以某法使其具有某種螺旋對稱時，就變爲有旋光性，沿傳播方向加一強靜磁場是達到此目的的一種方法，此法被稱爲法拉第效應（*Faraday effect*）。

在自然界中有一些複雜的分子，只有一種旋光狀態。例如去氧核醣核酸（*DNA*），它的螺旋型的結構完全是左旋光性的。至於爲什麼去氧核醣核酸會有這種特性，現在還不太清楚。

在基本的交互作用中，有些場合也表現出左右的不對稱性（弱交互作用），不過這與旋光性無關。

【旋光糖量計】（Saccharimeter）

由於蔗糖、葡萄糖均有旋光性，而其旋光性又隨濃度成正比，所以

利用這種性質我們可以線性偏振光的起偏鏡與檢偏鏡製成的旋光糖量計來測定溶液中所含的糖量。

參閱“旋光性(*Optical activity*)”條。

【旋度】(Curl)

一向量$\vec{A}$的旋度定義爲：梯度算符∇與$\vec{A}$依向量乘法運算所得的向量；即$\vec{A}$的旋度爲

$$curl\ \vec{A}=\nabla\times\vec{A}$$

$$=\frac{1}{h_1h_2h_3}\begin{vmatrix} h_1\vec{u_1} & h_2\vec{u_2} & h_3\vec{u_3} \\ \frac{\partial}{\partial u_1} & \frac{\partial}{\partial u_2} & \frac{\partial}{\partial u_3} \\ h_1A_1 & h_2A_2 & h_3A_3 \end{vmatrix}$$

在直角坐標中

$$\nabla\times\vec{A}=\vec{i}\left(\frac{\partial A_z}{\partial y}-\frac{\partial A_y}{\partial z}\right)+\vec{j}\left(\frac{\partial A_x}{\partial z}-\frac{\partial A_z}{\partial x}\right)+\vec{k}\left(\frac{\partial A_y}{\partial x}-\frac{\partial A_x}{\partial y}\right)$$

在柱面坐標中

$$\nabla\times\vec{A}=\vec{u}_r\left[\frac{1}{r}\frac{\partial A_z}{\partial\phi}-\frac{\partial A\phi}{\partial z}\right]+\vec{u}\phi\left[\frac{\partial A_r}{\partial z}-\frac{\partial A_z}{\partial r}\right]$$

$$+\vec{k}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rA\phi)-\frac{1}{r}\frac{\partial A_r}{\partial\phi}\right]$$

用球面坐標時

$$\nabla\times\vec{A}=\vec{u}_r\frac{1}{r\sin\theta}\left[\frac{\partial}{\partial\theta}(A\phi\sin\theta)-\frac{\partial A\theta}{\partial\phi}\right]$$

$$+\vec{u}_\theta\frac{1}{r}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial A_r}{\partial\phi}-\frac{\partial}{\partial r}(rA\phi)\right]+\vec{u}_\phi\frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\theta)\right.$$

$$\left.-\frac{\partial A_r}{\partial\theta}\right]$$

參閱“向量(*Vector*)”條。

“梯度(*Gradient*)”條。

【旋風】(Cyclone)

旋風和反旋風彼此都和氣候生直接影響。它們如果不遭外力的阻礙，那麽圖 11 — 75 可以表明風向的轉移，並且能夠很準確地預推風潮和氣候的變換。旋風發生的時候，大氣壓力輕薄，氣壓計度數甚低，故有時簡稱爲低氣壓即表示有旋風。反之反旋風 (*anti-cyclone*) 發生時候，氣壓凝重，氣壓計度數增高，故有時逕稱爲高氣壓。一般人們都知道旋風時期天氣潮濕多風，反旋風時期則必日晴風暖。

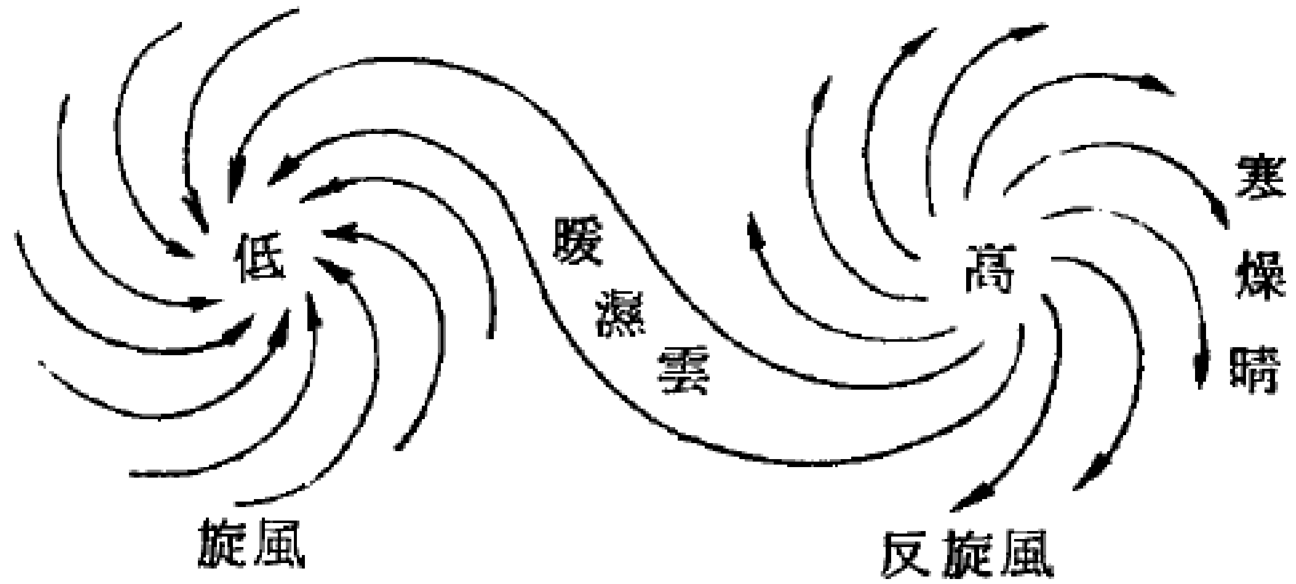


圖 11 — 75

普通人的心裏必以爲旋風是極大的風潮，它的旋轉速率非常迅速，有移山倒海、摧毁房屋、傾覆舟車的勢力。其實這樣的狂風雖與旋風性質相同，但應名爲暴風，和旋風絕不相混。這種暴風在美國和阿非利加西部地方時常發現。

颶風 (*hurricane*) 本亦旋風一種，其旋轉的軸心長達 200 英尺，寬僅 10 英尺許，旋轉速率每小時逾 500 英里，整個颶風前進速率恆在每小時 40 英里以上。這種颶風破壞的力量非常猛烈，它能夠摧枯拉朽地毁壞任何物體。

旋風雖亦旋轉進行，但是它的摧毁力量並不像颶風的可怕。它們時常從西南發生由大西洋起經過英倫三島向東北方面前進。但有時進行的方向適相反對，亦有時中止前進而在某處旋轉若干時間。此種旋風前進速率每小時恆自 20 英里至 50 英里。但如增高速度至每小時70 或 80 英里時則成爲暴風潮 (*gale or hurricane*)。

旋風並不單向一面旋轉，旋轉的順逆不一定。但範圍至廣有時佈及全英。且可接著達兩三日，在這吹風的時期裏氣候當然惡劣。

旋風的直徑可達2,000或3,000英里，它的形狀像一蛋形。

旋風將到的時候，必定覺得空氣閉塞，潮濕異常，陰溝內發生臭味。患風濕病者必感骨節酸痛，空中浮雲層密，時生濃霧，霪雨連綿，狂風從此便吹起來了。

這個時期裏因爲空氣濕潤氣壓計度數降低，這是因爲空氣裏含著許多水蒸氣，它的密度只及平常空氣五分之三，故空氣密度比晴天稀薄，氣壓轉輕，氣壓所指示的度數也就低落。

過了一會氣壓計停止低降，天氣又轉晴朗，惟時間極短，這時候我們適處在旋風的中心，劇烈的風浪正在我們外圈旋轉。嗣後復繼以暴風陣雨，層雲密積。此種密雲恆在旋風過後發現，猶如旋風之前，空中必定發現浮雲和卷雲（ *cirrus* ）一樣。

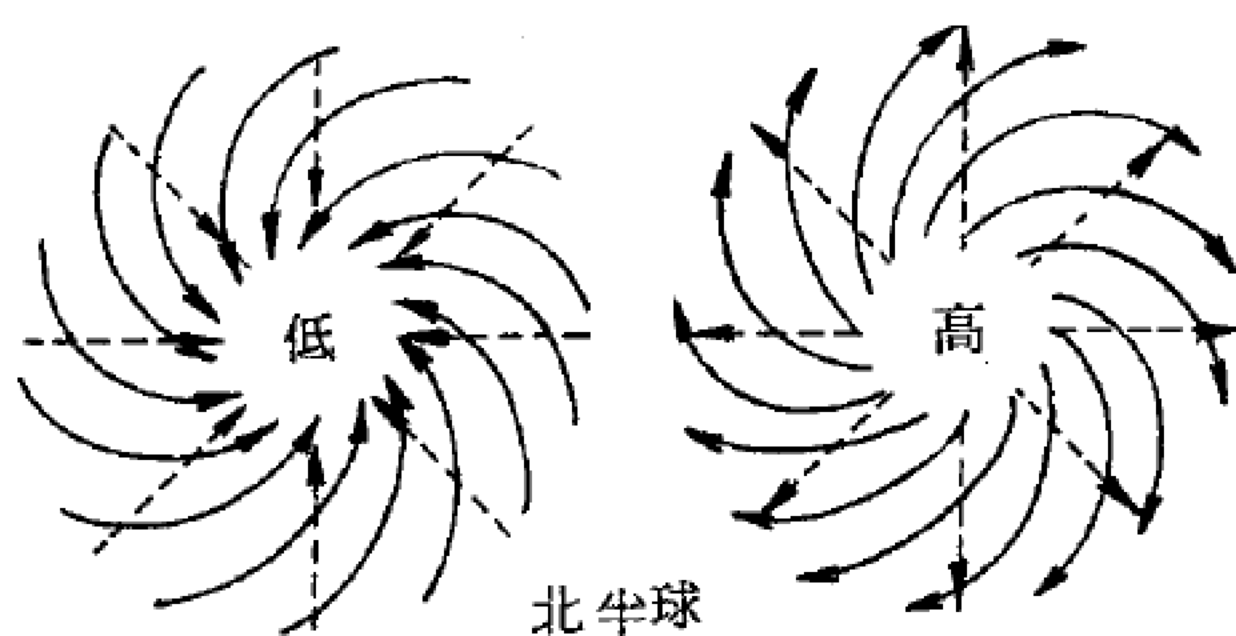


圖 11 — 76

北半球旋風和反旋風時候的風向。弧形箭頭是指示旋風所走的方向，直線（虛線）箭頭表明地球若不旋轉它們便照著直線進行。旋風中心點大氣壓力極低，反旋風中心處則氣壓殊高。

有時旋風的外面發生第二旋風，氣象學家稱爲第二氣壓。第二旋風恆與第一旋風平行前進。第一旋風之後是否發生第二旋風是不一定的，有時候它會突然發生，氣象臺每不及預先報告。

倘然風潮繼續延長到一星期以外，則第一旋風之後必又發生第二旋風，此旋風又叫做反旋風，它可以延長風潮時期至數星期之久，它的風向適與第一旋風相反，旋渦中心的壓力甚爲高大，但氣壓計在旋風中心與外圈時候的變遷較第一旋風不甚利害，這是因爲反旋風的中心幾和靜止狀態一樣的緣故。

反旋風的風向均自內向外，它的旋轉方向是和時計針一樣的。反旋

風的風力比較和緩，天氣亦必轉晴。沙漠地方多反旋風，時常終年不雨。反旋風風潮的範圍廣過旋風，有時不特遍佈全英且及於全歐以外的海洋內。整個的反旋風恆自東向西，有時則從西北吹向東南，它的方向恰和旋風相反。反旋風在夏季發生時候，天氣必定晴暖乾燥，若在冬季則必發生濃霧。

我們知道反旋風時期內，天氣常是晴朗，但如遇旋風侵襲的時候則天氣又轉惡劣。旋風和氣候有密切關係。

地球上面旋風發生的原因是由於太陽上面先發生了旋風的緣故。這個旋風在太陽上面距離地球93,000,000英里，雖然地球上面的旋風大不相同，但它們倆是有關係的。在望遠鏡的功用尚未十分精確以前，天文家觀察太陽的表面已發現有黑點，遂叫它做太陽黑點。這黑點發生的原因，在當時尚不明瞭。到了現在方才知道太陽黑點是包裹在太陽周圍的白熱蒸氣的旋風，就是太陽外面火霧所構成的巨大旋渦。



圖 11 — 77

這裏表示著南半球旋風和反旋風的風向。因爲地球在旋轉著，所以南半球和北半球的風向便不同，這個原因試拿一個能夠旋轉的地球儀來試驗，便能想像明白了。

天文家更測知太陽中的旋風（太陽黑點）地位，時常在緯度上移動，它們距離太陽的赤道愈遠而發生在甚高的時候則旋風力量很小，愈近太陽的赤道則風力愈大。現在氣象學家也同樣測得地球上面旋風的路線也在移動，有數年發生在極北部分，有數年則在極南部分。

綜合天文學家和氣象學者雙方的發現來相互研究，可以知道地球上旋風的方向常常和太陽中間旋風的方向有相同的地方，所以斷定它們是有密切關係的。

因爲地球的表面是凹凸不一致的，有高山大澤平原曠野，所以旋風的行程時常被阻而變更方向。又月球吸力所造成的潮汐力量也能變更地球上旋風進行的路線。

我們現在知道氣候變動與旋風作用有關係。旋風復因太陽中有黑點而發生，所以氣候的變換原因，多少是和太陽中的現象有關係的。

當認清的是，在此所講的旋風和反旋風的行動，都是指在北半球者，如果在南半球的話，因爲地球旋轉的關係，吹風的方向便略有不同（如圖11—77）。

【旋進】（Precession）

若一物理系統所受外加轉矩$\vec{\tau}$不爲零，則其角動量$\vec{L}$依下式而變：

$$\frac{d\vec{L}}{dt}=\vec{\tau}$$

若$\vec{\tau}$總是垂直於$\vec{L}$的瞬時方向，並位於通過$\vec{L}$的起始位置之固定平面內（如圖11—78(a)中之XY平面通過$\vec{L}$的起點O），則$\vec{\tau}$必恆切於圓C：取通過$\vec{L}$的起點，而垂直於前述固定平面的直線，並看成軸A（如圖中的Z軸）；在含有$\vec{L}$終點（即圖中$\vec{L}$向量的箭頭處）而垂直於A的第二平面上，以A爲圓心，作一圓通過$\vec{L}$的終點，即爲圓C。由於在dt時間內，$\vec{L}$的增量$d\vec{L}=\vec{\tau}dt$與C相切，故$\vec{L}$的終點將沿圓周C而隨時間移動。

系統因$\vec{L}$的這種依時變化而發生的運動，稱爲旋進。以θ表A與$\vec{L}$的夾角，則C的半徑爲$L\sin\theta$。在dt時間內，$\vec{L}$旋進經過角位移$d\phi$，而$d\phi$爲dL和C的半徑之比，所以$\vec{L}$的旋進角速率爲

$$\omega=\frac{d\phi}{dt}=\frac{1}{dt}\cdot\frac{\tau dt}{L\sin\theta}=\frac{\tau}{L\sin\theta}$$

對稱陀螺（如圖11—78(b)）在自旋時即呈現旋進現象。若自旋軸（即陀螺的對稱軸，亦即角動量$\vec{L}$所表示的軸）並非完全鉛直，重力$m\vec{g}$便生成欲使陀螺傾覆的轉矩；但陀螺不會立刻倒下，而是繞著通過支點

的鉛直線，作旋進運動。廻轉盤亦有相似的行徑（圖11—78(c)）。旋進的週期T_p與自旋週期T_s間的關係是

$$T_p = 4\pi I_s \sin\theta / \tau T_s$$

式中I_s是對於自旋軸的慣性矩。

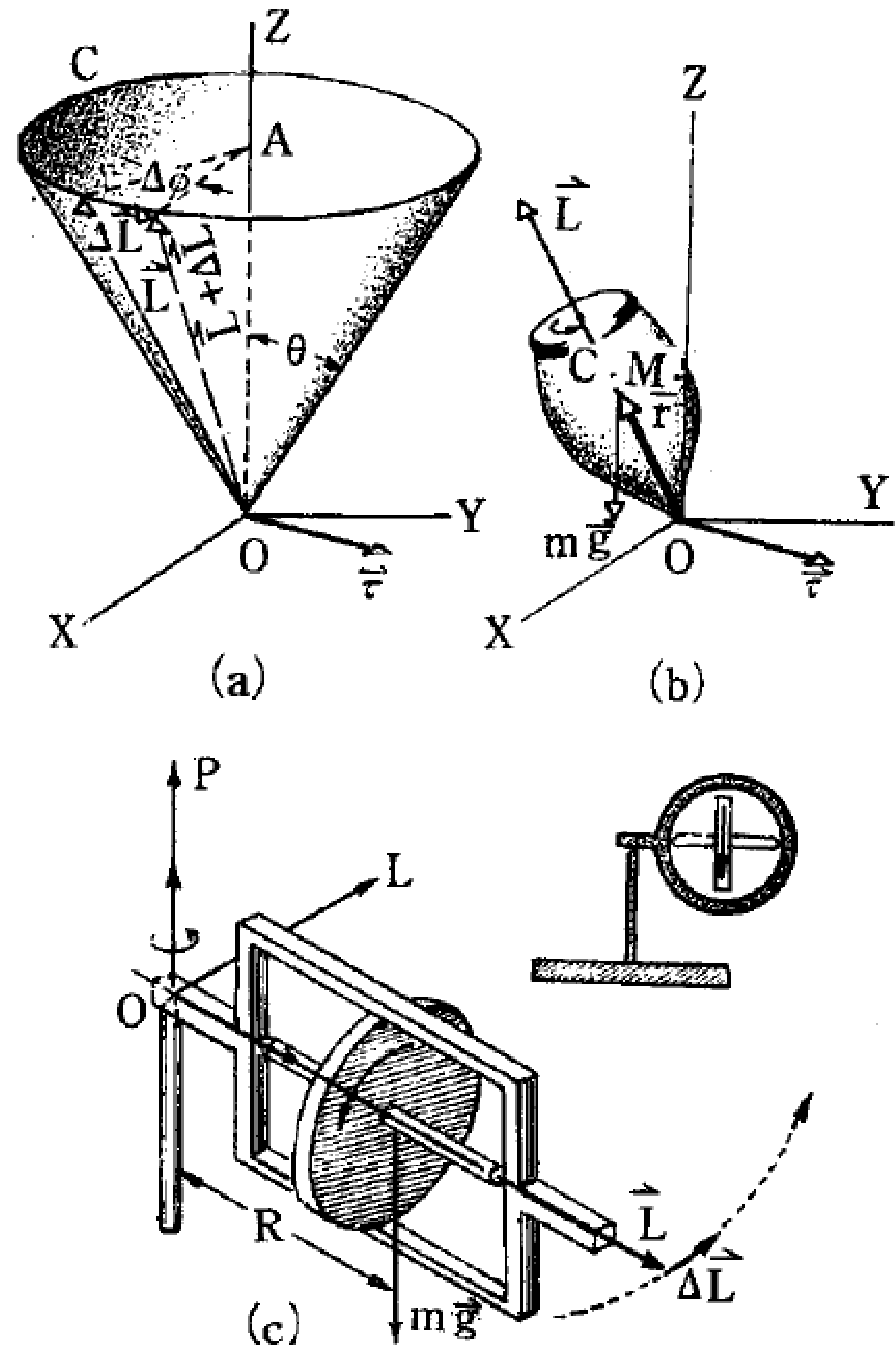


圖 11 — 78

自旋質子相當於一磁雙極，在磁場$\vec{B}$中，也會產生旋進運動，其轉矩來自磁雙極矩$\vec{\mu}$和磁場的交互作用，即

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

【旋渦星雲】（Spiral nebula）

旋渦星雲是有稍亮的中心核，由中心向左右分支，成旋渦的形狀之星雲。旋渦差不多沒有三週以上光譜為連續，差不多沒有氣體線。它們的距離，都是非常的大，它們的分佈是密集於銀河的兩極，是在銀河外側的天體。每一旋渦星雲是由各別恆星的集團而成，都是可和銀河系相匹敵的大宇宙。總數當在百萬以上；以仙女座（*Andromeda*）和獵犬座（*Canis Venatici*）的星雲為代表。

仙女座的旋渦星雲肉眼也可以看見，在該座 ν 星附近，赤經 0 時 37 分，赤緯北 40 度 44 分。直徑為月亮的 5 倍，以每秒 200公里的速度向地球接近。距離約 900,000 光年，直徑約 30,000 光年。

【旋渦臂】（Spiral arm）

由旋渦銀河中心核平面旋出的星際物質和幼年星球成一旋渦臂狀，

謂之旋渦臂。

【旋轉向量】(Rotating vector)

大小不變而方向隨時間改變的向量，我們稱之爲旋轉向量。任意一旋轉向量的時變率必與原向量垂直。若$\vec{A}$爲一旋轉向量，經 dt 時間後此向量變爲$\vec{A}(t+dt)$（圖11—79），則因

$$|\vec{A}(t+dt)| = |\vec{A}(t)| = A$$

故

$$|d\vec{A}| = |\vec{A}|\,d\theta$$

$$d\vec{A} = A d\theta\,\hat{\theta}$$

或者

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = A\dot{\theta}\,\hat{\theta}$$

所以 $\dfrac{d\vec{A}}{dt}$ 垂直於$\vec{A}$。

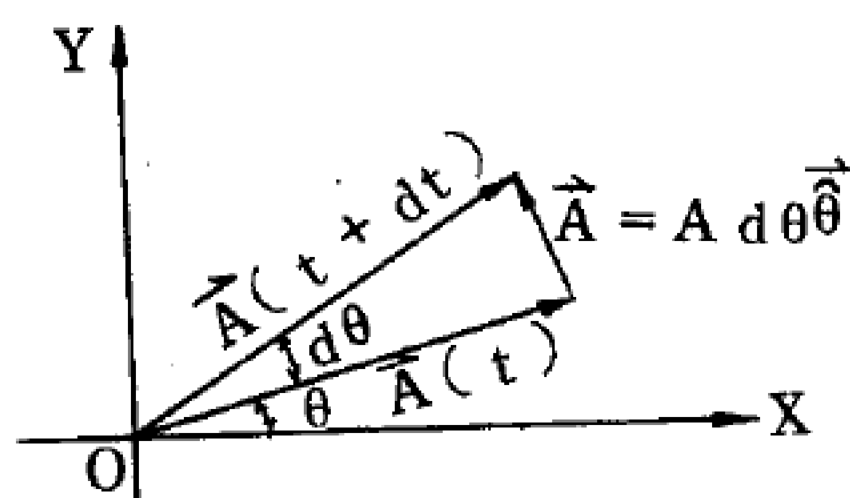


圖 11 — 79

【旋轉式黏度計】(Rotational viscosimeter)

如圖11—80所示之儀器，即爲旋轉式黏度計，用以測量黏滯係數(*coefficient of viscosity*)。如果液柱高爲 h，外圓柱體之轉速爲 ω，而彈簧所受之轉矩爲 τ，且 a，b 甚小，則黏滯係數爲

$$\eta = \frac{2ab\tau}{\pi r_1^2\omega(4r_2bh + r_1^2a)}$$

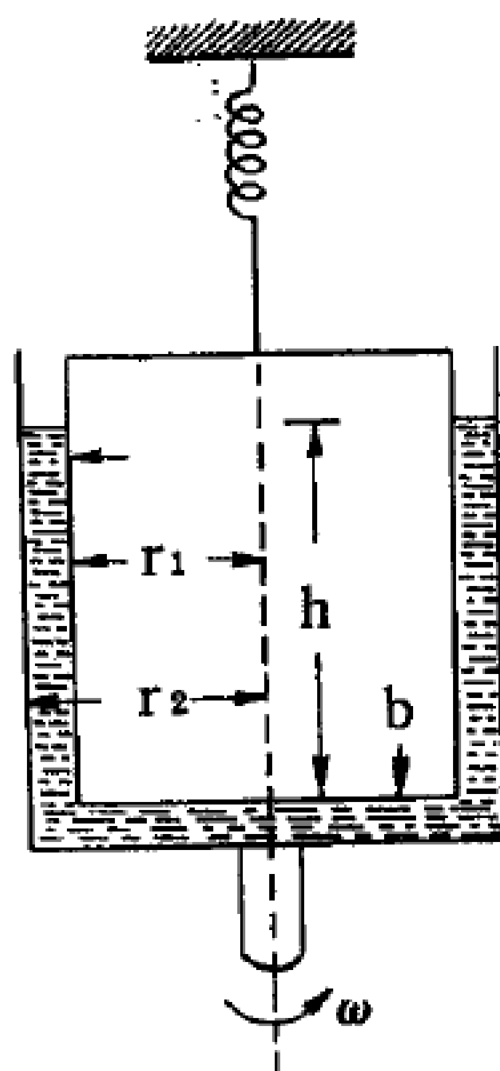


圖 11 — 80

【旋轉坐標系】(Rotating coordinate system)

以角速度$\vec{\omega}$轉動的坐標系，例如地球。任一向量$\vec{A}$在固定不動的坐標系中，對時間的導式爲$(d\vec{A}/dt)_{fixed}$，在旋轉坐標系中成爲$(d\vec{A}/dt)_{rot} + \vec{\omega}\times\vec{A}$。

因此，在兩種坐標系原點重合的時候，位置、速度等需作如下之變換（加撇號者爲旋轉系中測得之量）：

$$\vec{r} = \vec{r}'$$

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}'$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + 2(\vec{\omega} \times \vec{v}') + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}')$$

而 $$\vec{F}' = \vec{F} - 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}') - m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}')$$

則爲旋轉坐標系中測得之力；右端第二項爲科里奧利力（*Coriolis' force*），第三項爲離心力。

【旋轉開關】（Rotary switch）

以轉軸控制多點接觸式的開關稱爲旋轉開關。

【旋轉晶體法】（Rotating crystal method）

一種晶體結構的X光分析法。

【旋轉電容器】（Rotary capacitor）

旋轉電容器如圖11—81，係由兩組半圓形的金屬片組成，此等金屬片互相平行且距離一致。第一組的各金屬片係固定而互相連接者；第二組互相連接的金屬片則能在第一組的間隙中轉動。因而使其有效面積F增加。若將第二組的金屬片全部轉入第一組的間隙中，則其電容爲最大。

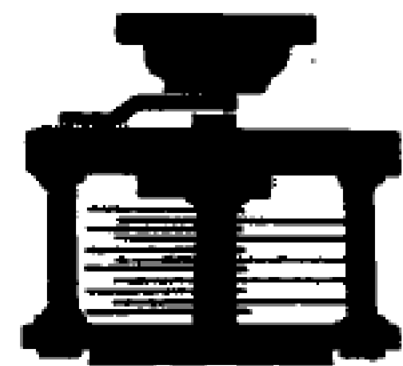


圖 11 — 81 旋轉電容器的影面。轉動可動的一組金屬片（能使各片互相對峙的面積任意的增加或減少），因而改變其電容。

【旋轉磁場】（Rotating field）

這是一個交變磁場，從大小上來說，差不多是一個恆定場，但方向在週期地變化著，場強的矢量是以恆定角速度在旋轉。旋轉磁場可以由幾個方向不變的交變磁場相加而獲得。此時各相加場的方向在空間應分別相差一定的角度，而場強的變化則應有與之相應的相移（對時間而言）。獲取旋轉磁場最普遍的方法是利用三相電流（*three phase current*）。如果三個線圈的排列位置是互成120°的夾角，並且饋以相位相差120°的電流，則三個線圈的合成磁場（其大小是恆定的）將週期地旋轉，旋轉週期等

於所饋電流的週期。在三相電動機裏，用夾角為 90°的兩個線圈，饋以相位移為90°的電流，也同樣可以獲得旋轉磁場，只不過其大小有一些變化。

【晝與夜】(Day and night)

一日之中所以有晝夜之分，是由於地球的自轉。地球上面對太陽的一面是白晝，背對太陽的一面為黑夜。

地球的自轉軸若和公轉軌道面成垂直，則既無一年四季的變化，晝夜的長也整年都一樣長。但事實上並非垂直，而是有 66.5°的交角。因此，公轉軌道上的地球位置，所受日射便不同，晝夜的長短便有差異。

白天是夏長冬短。夏季，太陽自東偏北的方向出現，大繞天空，所以白晝較長。冬季，太陽自東偏南的方向出現，小繞天空，所以白晝較短。

春分、秋分的日子，太陽自東升起而向西墜落，所以地平線高的部分(晝)和地平線低的部分相等，晝夜長便相同。

北半球在夏至日時，是一年中日出最早的一天；冬至日，即日出最晚。日沒的時刻，在夏至日最晚，在冬至日最早。

在北極，夏至日是一整天都是白晝，太陽是約與地平線平行而向右進行。冬至日是一整天都是黑夜，北極星正在上空，一切的星都以它為中心，以反時鐘的方向運行。

在南極，夏至日是一整天都是黑夜，一切的星都以順時鐘的方向運行。冬至日是一整天都是白晝，太陽和地平線平行而向左運行。

【晨鳥衛星】(Early birds satellites)

晨鳥衛星是通訊衛星公司所有，其與地球之相關位置不變，在大西洋上空，用以連繫美洲與歐洲之通訊。

【朗日凡順磁性】(Langevin paramagnetism)

設有一介質每單位體積含有N個原子，每原子的磁矩為$\vec{\mu}$，則當外

加磁場$\vec{H}$時，每一磁矩與磁場的交互作用能量為

$$U=-\vec{\mu}\cdot\vec{H}=-\mu H\cos\theta$$

熱平衡時，由$\cos\theta$的熱平均值而得其磁化強度為

$$M=N\mu L(x)$$

式中

$$L=ctnhx-1/x \qquad (x=\mu H/kT)$$

$L(x)$稱為朗日凡函數。在$x\ll 1$時，$L(x)$近似$x/3$，因此磁化強度約為　$M\cong N\mu^2 H/(3kT)$

磁化率為

$$\chi=M/H=N\mu^2/3kT=C/T$$

此關係稱為居里定律。

因此結果乃根據朗日凡函數導出，故凡物質的磁化率有此關係者稱為朗日凡順磁性（如圖 11－82 ）。

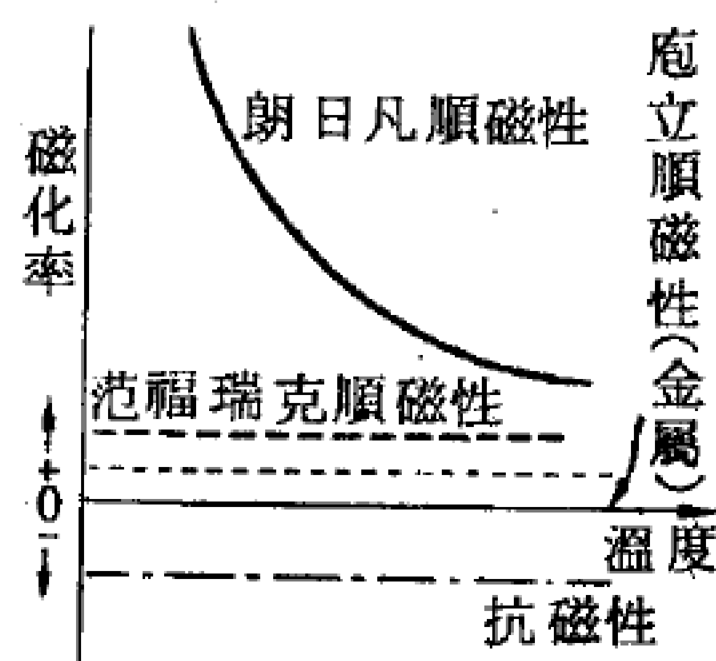


圖 11 — 82

【朗伯】(Lambert)

亮度的單位。一朗伯是單位平方厘米面積上有一流明的光通量。呎朗伯是每平方呎一流明的亮度。朗伯的實用單位是毫朗伯。

1 毫朗伯＝ 0.9290 呎朗伯＝ 3.183 燭光／米^2。

此單位為德國物理學家朗伯(*J.H. Lambert*)所測定，故以其名名之。

【朗伯餘弦定律】(Lambert's law of cosine)

設I為與光線成正交時面上之照度，I'為與正交面成θ夾角時面上之照度，則

$$I'=I\cos\theta$$

【望日】(Solstice)

如冬至（*winter solstice*），夏至（*summer solstice*），十二月與六月，當太陽向南或向北運行時，與天球赤道所成之赤緯度爲 $23°27'$，已至極端之位置，此二處之太陽顯出止之於此的情況。

【望遠鏡】（**Telescope**）

將兩組透鏡裝於可伸縮的圓筒二端，用以觀察天體或地上遠距離景物之裝置，稱爲望遠鏡。

望遠鏡可分爲反射望遠鏡、折射望遠鏡及地上望遠鏡三種：

1. 反射望遠鏡（*reflecting telescope*）—— 如牛頓式、卡士格冉式和赫協爾式望遠鏡。常應用於天文方面，其形狀很多，茲僅述牛頓所發明者。其構造爲一大圓筒，筒底置一凹鏡，筒中置一小平面鏡，令與筒軸恰成 $45°$ 之角，或用直角三稜鏡，令其側面與筒軸垂直，而光線全行反射爲佳；又筒側開一孔，嵌一凸透鏡，爲目透鏡之用。今設以此望遠鏡窺一行星，自星體所發光線投射於筒底凹鏡，反射後得實像於凹鏡焦點，然其前置有平面鏡，故復行反射，而生虛像於其後，得以目透鏡擴大視之。

2. 折射望遠鏡（*refracting telescope*）——天文家或普通測遠物時用之。天文家所用之折射望遠鏡爲一大圓筒，其端嵌一焦距甚大之凸透鏡是爲物透鏡；他端以恰合之另一圓筒插入，令可自由推入挽出，其端亦嵌一凸透鏡是爲目透鏡。令設以此望遠鏡窺一行星，調整目透鏡，今由物透鏡，恰生實像於目透鏡之焦面內，則次由目透鏡，得其實像變爲擴大之虛像。

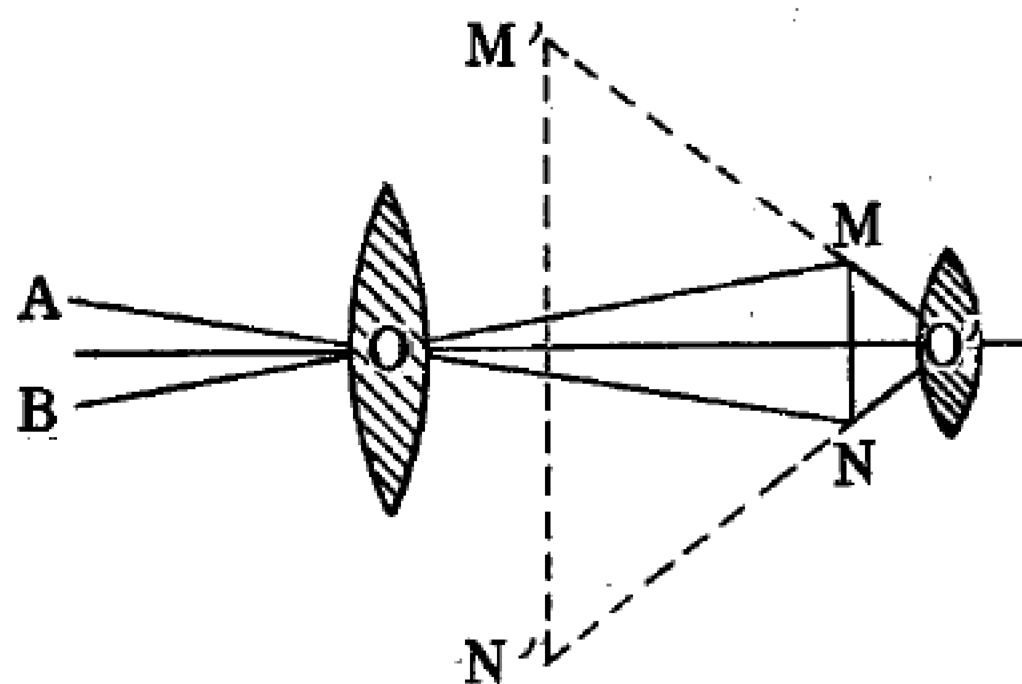


圖 11 — 83

如圖 11 — 83 自星體所發光線，由物透鏡生實像 MN 於目透鏡之焦面內，此實像 MN，爲透鏡 O' 擴大，變爲虛像 $M'N'$。圖中的 $\angle AOB$ 即

$\angle MON$，爲星體之視角，$\angle M'O'N'$即$\angle MO'N$，爲星體之像之視角，故望遠鏡之放大率，以$\angle MON$除$\angle MO'N$即得。然$\angle MO'N$與$\angle MON$之比較，物透鏡之焦距與目透鏡之焦距之比，相差無幾，故普通望遠鏡之放大率，可以物透鏡之焦距與目透鏡之焦距之比表之。例如：物透鏡之焦距爲50厘米，目透鏡之焦距爲1厘米，則其放大率恰爲 50，故物透鏡之焦距愈大，目透鏡之焦距愈小，則望遠鏡之放大率愈強，而行星之像也愈大。

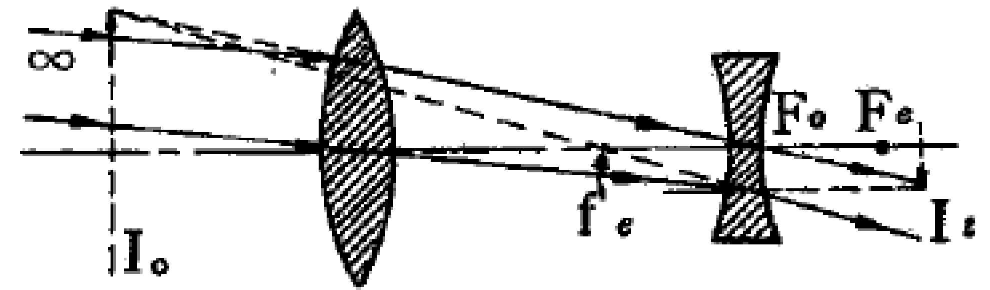


圖 11 — 84

3. 地上望遠鏡（ *terrestrial telescope* ）——天文用望遠鏡，實物與像全相顚倒，故不能以之視山水樓閣等物，視山水樓閣須用地上望遠鏡。地上望遠鏡之放大率較小，其又可分爲下列三種：

(1)正像望遠鏡（ *erecting telescope* ）—— 在物、目凸透鏡間，插入另一凸透鏡使由物鏡造成之倒像，再折射爲一正立實像，然後再由目鏡放大。如圖 11 — 84 所示。

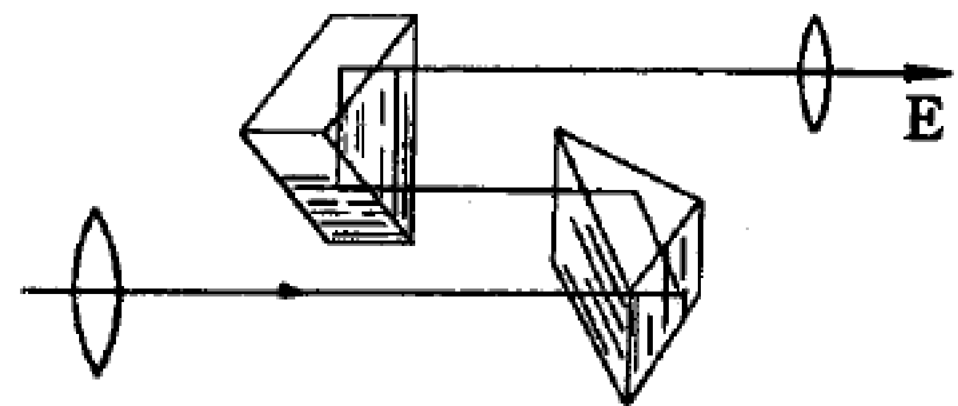


圖 11 — 85

(2)伽立略望遠鏡（ *Galileo telescope* ）——普通觀劇鏡（ *opera glass* ）即由二伽立略望遠鏡左右併置而成，但此鏡缺點爲視場（ *field of view* ）過小。

(3)棱鏡雙筒望遠鏡（ *prismatic binocular* ）—— 在目、物鏡間插入二直角三稜鏡，光經二稜鏡全反射後，上、下、左、右均將物鏡形成之顚倒實像予以還原。如圖 11 —85 所示。

望遠鏡除了要注意其成像正常外還需要修正，其可能出現的缺點有下列數種：

1. 色像差（ *chromatic aberration* ）。

2. 球面像差（ *spherical aberration* ）。

3. 彗形像差（ *comatic aberration* ）。

4. 像散性（ *astigmatism* ）。

一個色像差雙透鏡（為視覺工作而設計）乃是普通之設計，將紅光及藍光引入一共同焦點，而綠光之焦點乃在透鏡之近處；因此一白色星點之延伸性物像應呈現出一紫紅色外圈而具綠心在焦點中，及一綠色外圈及紫紅色心在焦點之外。一個高度色像差，在其中紅綠及藍均聚在一焦點上，將在焦點之每側呈現一白色圓斑。

若球面像差呈現如圖11—86(*b*)及(*c*)中所示，則分別為"改正不足"或"過分改正"之球面像差。

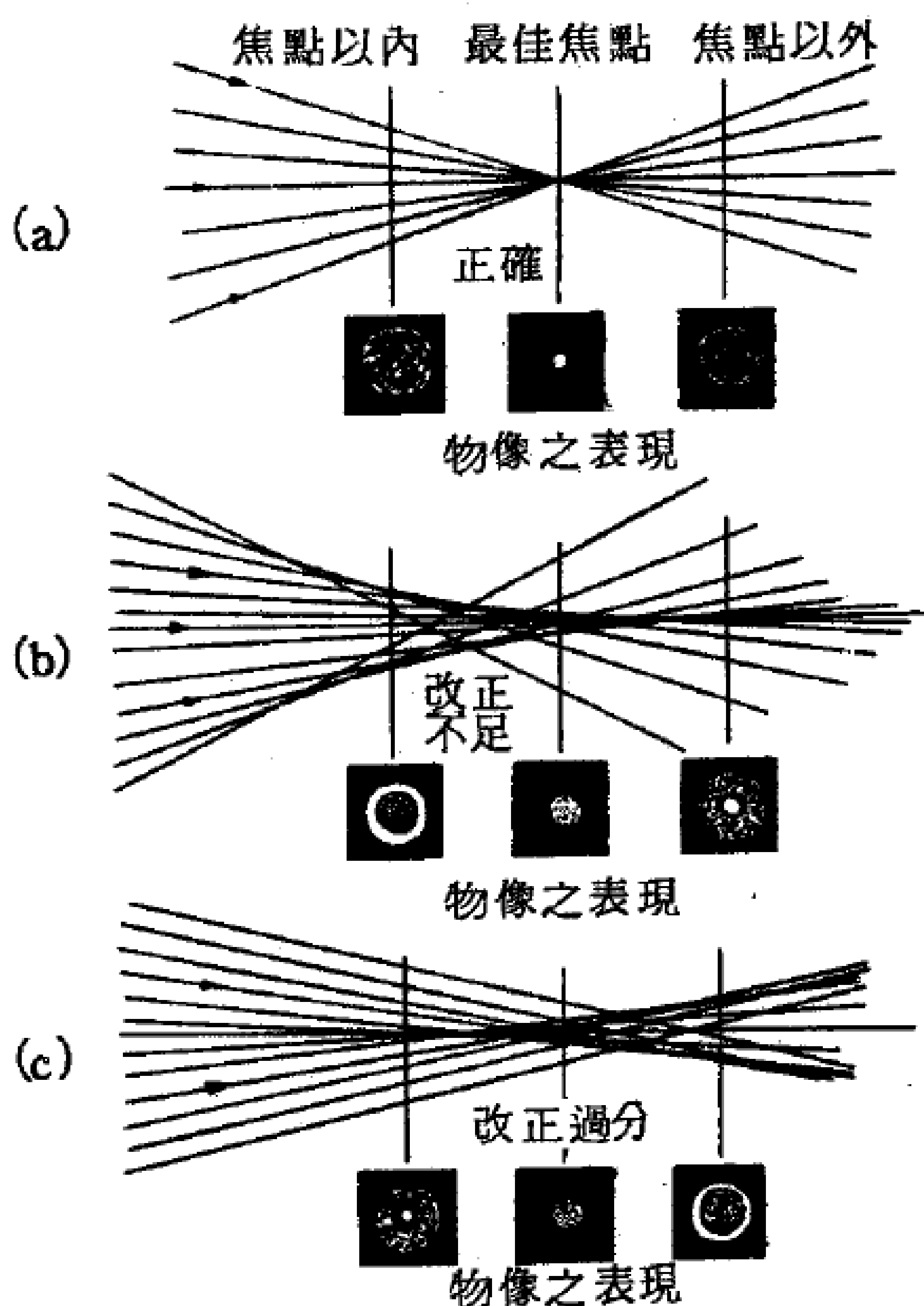


圖 11 — 86

星點試驗照明之球面像差

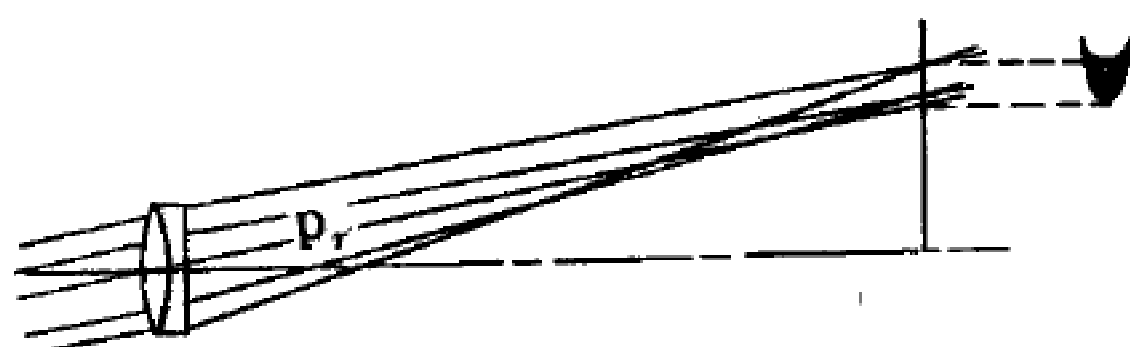


圖 11 — 87　彗形像差

"彗形像差"乃因傾斜之光線穿過透鏡不能交於傾斜軸 p_r 上，如圖11—87所示。於是在星標之圓形物像之他側產生一模糊的尾端，且在像場邊緣可見物像呈現出來。假如此種彗形像差在像場之中心出現則更不可忽視；其可能由於一種傾斜或物鏡成分一部或全部中心之

差誤所致。

像散性亦為一種像差，此乃因傾斜光線所致，亦由於在子午圈內與其他光線直交之光線沿傾斜軸在不同距離處射向焦點。如圖11—88中，在一垂直平面中之光線可能射至一A點的焦點，而其在一水平平面內則在B點。結果在此等點上形成焦線，且在C處形成最小混淆之圓盤(*circular disc of least confusion*)，此擴張的物像將呈現橢圓形斑，此即像散性之特徵。

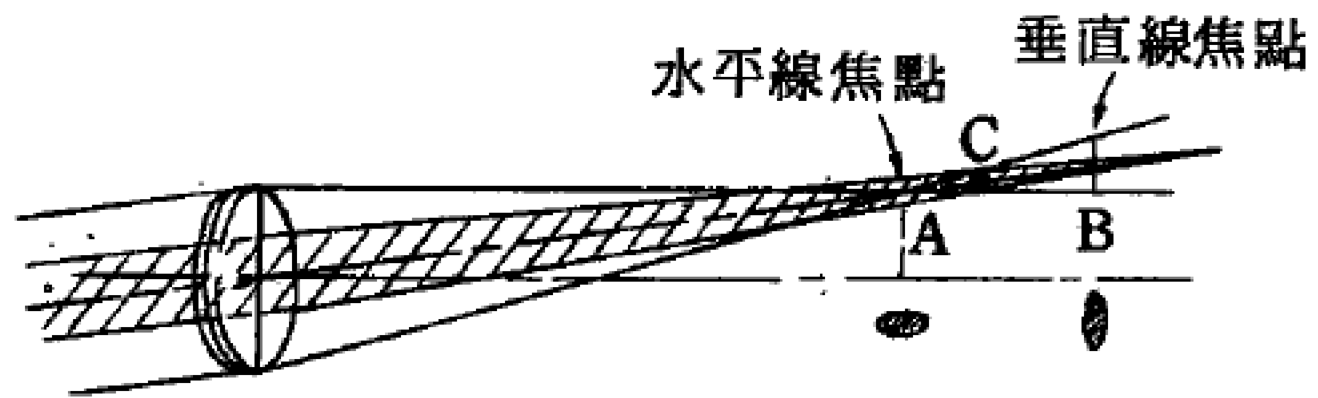


圖 11 — 88　焦線差

望遠鏡的角鑑別率是1.22 λ/d 弧度，其中 λ 是光波波長，d 是物鏡直徑。

實用上常見之望遠鏡物鏡之主要型式如圖11—89所示。最常見之形式係夫牢因和斐(*Fraunhofer*)原來設計的，均以一雙凸冕牌透鏡、一火石凹透鏡及一近於平面的底表面所組成。在此物鏡中，最初色像差及球面像差均已矯正，且透鏡實際已無彗形像差。

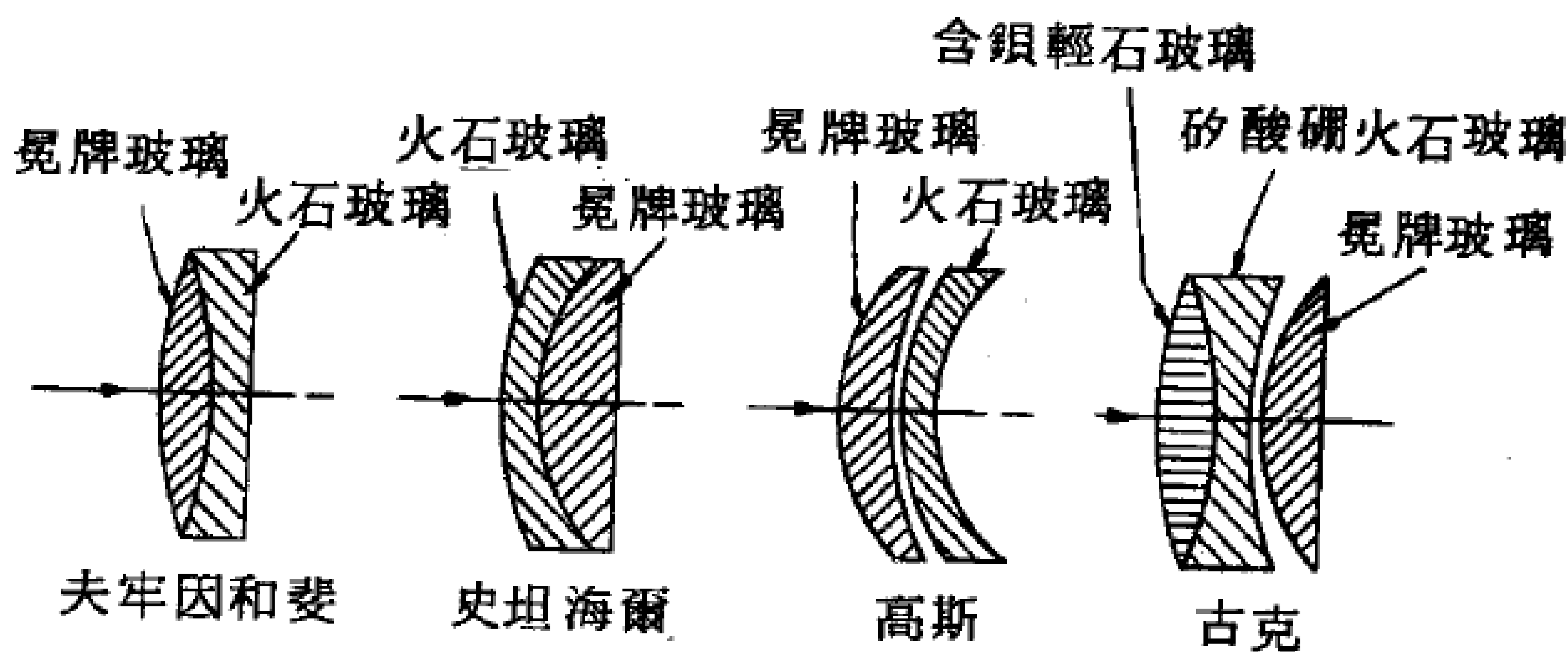


圖 11 — 89
各種望遠鏡物鏡之型式

火石透鏡在前面的型式稱為史坦海爾(*Steinheil*)透鏡。略呈強彎曲度表面，但已除去像差者稱為夫牢因和斐型。

在高斯(*Gauss*)型透鏡中冕牌玻璃在前方，但相接觸之表面並非相同的半徑。如此在消除色像差方面伸縮性很大，此種透鏡能矯正對兩種波長之球面像差。

在古克（*Cooke*）型透鏡中用三片不同玻璃的透鏡，其物鏡對三種波長之色像差可藉二次光系之減輕效果而加以矯正。

至於目鏡，商用望遠鏡中最常用者爲惠更斯型或冉士登型，均有其重要性，前者對放大率有少量色像差，廣爲應用。對於高倍數目鏡及視場較大的望遠鏡則必須應用更複雜的系統如圖11—90所示，其中(*a*)型爲阿貝整形目鏡（*Abbe's ortho-scopic eyepiece*），而(*b*)及(*c*)型均爲冉士登色像差目鏡。

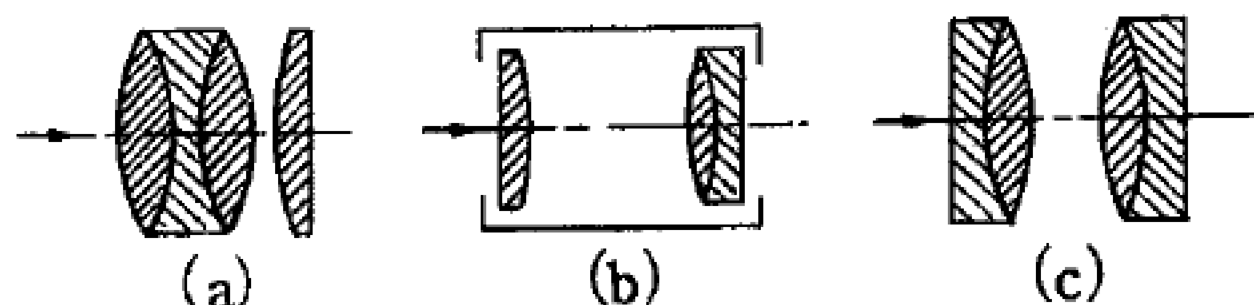


圖11—90　色像差的目鏡

【望遠鏡放大率】（Magnifying power of telescope）

望遠鏡的放大率就是望遠鏡看物像時的角度（叫視角），與直接看物體時的角度之比。由於這是約等於物鏡（反射鏡）的焦點距離，與目鏡的焦點距離的比，可以用下式表示：

$$\text{望遠鏡的放大率}=\frac{\text{物鏡的焦點距離}}{\text{目鏡的焦點距離}}$$

【梯形電網絡】（Ladder type network）

一種可調分接式的衰減網絡。

【梯度】（Gradient）

一純量ϕ的梯度定義爲梯度算符∇對ϕ進行微分運算所得的向量，

即 $$grad\ \phi=\nabla\phi=\left(\vec{u}_1\frac{1}{h_1}\frac{\partial}{\partial u_1}+\vec{u}_2\frac{1}{h_2}\frac{\partial}{\partial u_2}+\vec{u}_3\frac{1}{h_3}\frac{\partial}{\partial u_3}\right)\phi$$

$$=\vec{u}_1\frac{1}{h_1}\frac{\partial\phi}{\partial u_1}+\vec{u}_2\frac{1}{h_2}\frac{\partial\phi}{\partial u_2}+\vec{u}_3\frac{1}{h_3}\frac{\partial\phi}{\partial u_3}$$

式中u_1，u_2，u_3 爲正交三維坐標中的各軸坐標；$\vec{u}_1$，$\vec{u}_2$，$\vec{u}_3$爲其對應單位向量；h_1，h_2，h_3 爲各坐標的度規係數（*metric coefficient*），其意義爲：與u_i相關的長度基素ds_i等於$h_i\ du_i$，例如球面坐標中的$ds_\theta=rd\theta$，$h_\theta=r$。茲將常用的度規係數列表如下：

系統	坐標			度規係數			單位向量		
直角坐標	x	y	z	1	1	1	$\vec{i}$	$\vec{j}$	$\vec{k}$
柱面坐標	r	ϕ	z	1	r	1	$\vec{u_r}$	$\vec{u_\phi}$	$\vec{k}$
球面坐標	r	θ	ϕ	1	r	$r\sin\theta$	$\vec{u_r}$	$\vec{u_\theta}$	$\vec{u_\phi}$
一般正交坐標	u_1	u_2	u_3	h_1	h_2	h_3	$\vec{u_1}$	$\vec{u_2}$	$\vec{u_3}$

所以

$$\nabla\phi=\begin{cases}\vec{i}\dfrac{\partial\phi}{\partial x}+\vec{j}\dfrac{\partial\phi}{\partial y}+\vec{k}\dfrac{\partial\phi}{\partial z} & \text{(直角坐標)}\\ \vec{u_r}\dfrac{\partial\phi}{\partial r}+\vec{u_\phi}\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\phi}{\partial\phi}+\vec{k}\dfrac{\partial\phi}{\partial z} & \text{(柱面坐標)}\\ \vec{u_r}\dfrac{\partial\phi}{\partial r}+\vec{u_\theta}\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\phi}{\partial\theta}+\vec{u_\phi}\dfrac{1}{r\sin\theta}\dfrac{\partial\phi}{\partial\phi} & \text{(球面坐標)}\end{cases}$$

【梯級衰減器】(Stepped attenuator)

爲一具備分接的可變電阻器。

【梯恩梯炸藥當量】(T.N.T. equivalent)

爆炸時相當於多少噸重的梯恩梯爆炸所釋放出的能量(梯恩梯是一種化學爆炸物，三硝基甲苯)，以這個標準來表示引爆一個核炸藥所釋放的能量。通常以仟噸或百萬噸爲單位。梯恩梯炸藥當量的關係是以釋出十億卡的能量作爲一噸梯恩梯炸藥當量。

參閱“仟噸能量(*Kiloton energy*)”條。

“百萬噸能量(*Megaton energy*)”條。

“產率(*Yield*)”條。

【桿臂】(Lever arm)

槓桿上支點至與力之方向之垂直距離爲桿臂。

【桿鐘】(Rod clock)

桿鐘主要是由一支桿造成，桿長爲 L，桿的一端附有一鏡子，另一端附有一脈動光源及一探測器，光源連接著一高速的觸發器(*trigger*)。假如在開始時光源閃光，光以光速 c 沿桿前進，經鏡子反射回而被

探測到，探測器復觸發了光源閃光。閃光之間的時間是一個常量。

如圖 11－91，桿方向與運動的方向垂直，假定在桿爲靜止的坐標系統中有一觀察者，這坐標系稱爲固有坐標系統（*proper frame*）。假定探測器能以無限快的速率移動，固

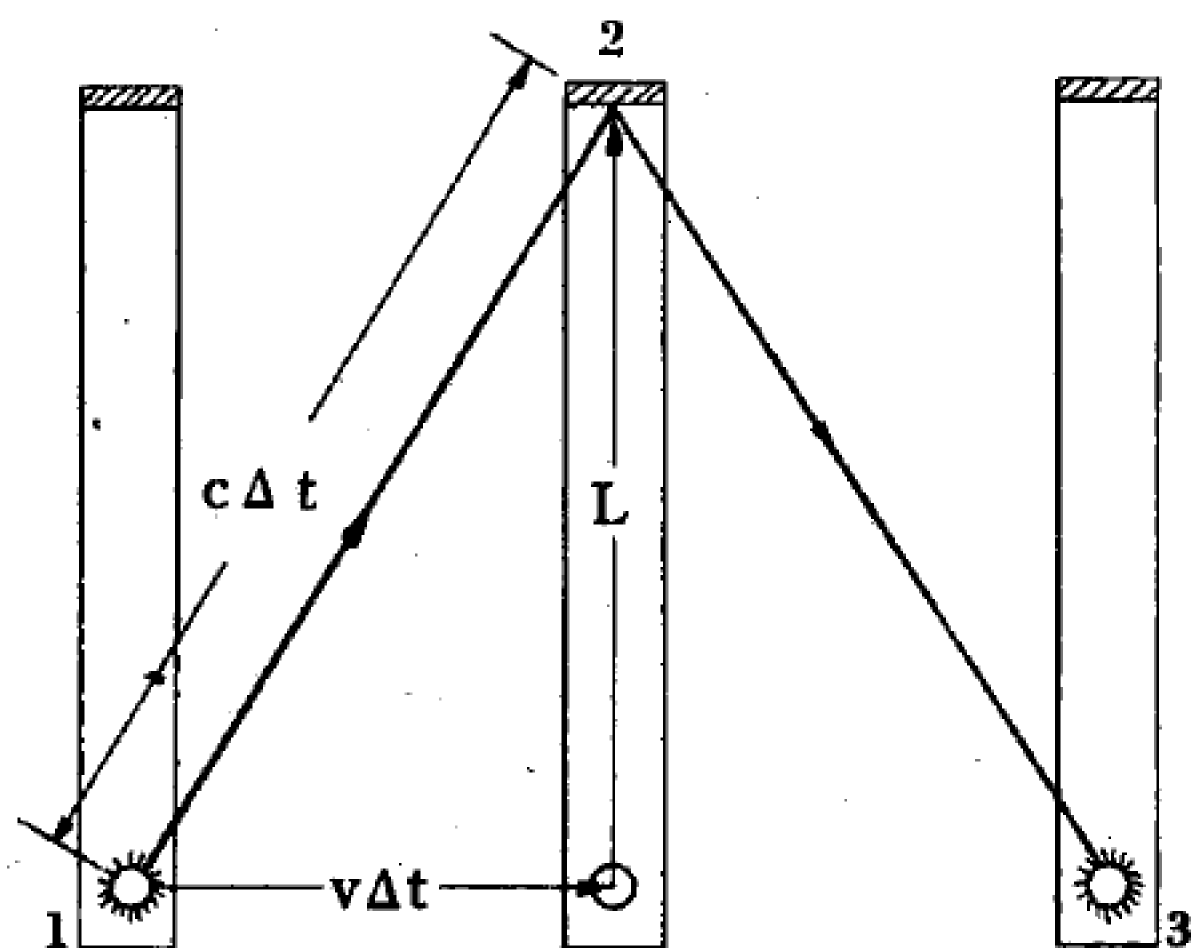


圖 11－91

有坐標系統中的觀察者將發覺閃光之間的時間是 $\frac{2L}{c}$。在實驗室中另一個觀察者會發覺自運動中的光源至運動中的鏡子那段途程並非 L 那樣長，而是自位置 1 至位置 2 的鏡子，再至位置 3 的探測器。 Δt 是自 1 至 2 的時間，因此閃光之間的時間是 $2\Delta t$，根據

$$c^2\Delta t^2 = L^2 + v^2\Delta t^2$$

即可得到

$$\Delta t = \frac{L}{c}\ \frac{1}{(1-\frac{v^2}{c^2})^{\frac{1}{2}}}$$

因此，若一固有坐標系觀察者（對於此觀察者，桿鐘是靜止的）測量到閃光之間的時間是 $2\Delta t_0$，但對於在實驗室坐標系中的觀察者（對於此觀察者，桿鐘以垂直於桿的速度 v 運動），其測量到閃光之間的時間則是 $2\Delta t$。兩者的關係如下：

$$\Delta t = \Delta t_0 (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} \tag{1}$$

在相對論的文獻中，習慣上用下面的記號

$$\frac{v}{c} = \beta \quad 及 \quad (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} = (1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}} = \gamma \tag{2}$$

β 與 γ 間的關係類似於一直角三角形中 $sin\theta$ 及 $sec\ \theta$ 間的關係，此直

角三角形的斜邊長是1，對θ角的邊長是β。則$\sin\theta=\beta$，$\sec\theta=\gamma$。

利用方程式(2)中的記號，方程式(1)變成

$$\Delta t=\gamma\Delta t_0$$

桿鐘實驗的意義如下：實驗室觀察者及運動中的觀察者都有著相同的鐘。每個觀察者都知道他的桿鐘時間是正確的，然而每個靜止觀察者總會覺得運動中的鐘以不正確的速率走動。靜止的觀察者從靜止的鐘讀到的閃光間隔是$2\Delta t_0$，但從運動中的鐘讀到的閃光間隔則是$2\gamma\Delta t_0$，運動物體的速率總小於c，因此γ總大於1。

在一慣性坐標系中的一個觀察者比較兩鐘，其中一鐘對觀察者是靜止的，另一鐘以速率v相對於觀察者運動，則觀察者一定會指出運動中的鐘之閃光間隔長於靜止的鐘之閃光間隔。一個鐘包括兩部分，一部分打出時間的間隔，另一部分計算這些間隔，實驗室中的計數器上所記錄的靜止鐘的讀數，將大於運動鐘的讀數。實驗室中的觀察者一定會下結論說運動中的鐘走得比較慢。

所有在同一慣性坐標系中的鐘，如果正確地走動，都是以相同的速率走動的。所有運動中的鐘，不論是桿鐘、原子鐘、生物鐘或其他任何的鐘，都走得比較慢。

【梭狀星雲】(Swift nebula)

梭狀星雲的分佈、距離、光譜等等，和旋渦星雲都是一樣；不過其形狀爲梭狀，所以大概是從側面所看的旋渦星雲。如后髮座(*Coma*)的梭狀星雲。

參閱“旋渦星雲(*Spiral nebula*)”條。

【梅耳得實驗】(Melde's experiment)

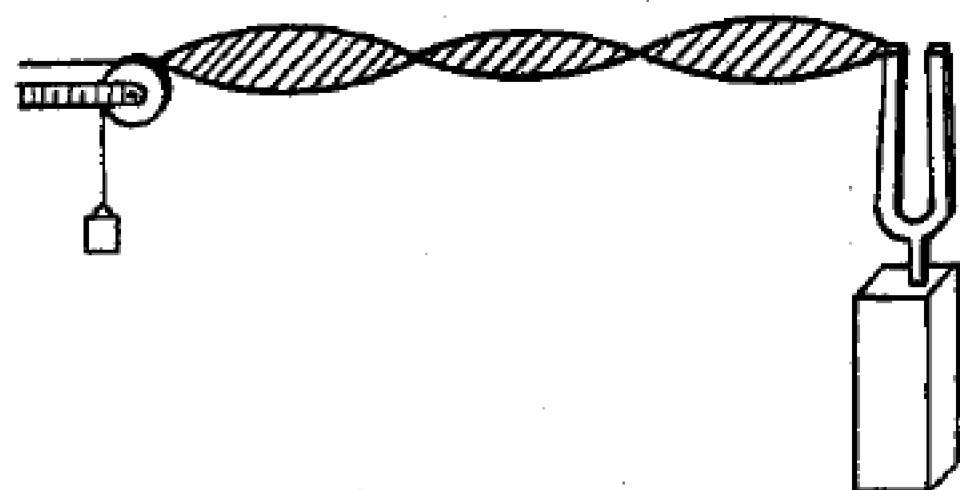
梅耳得實驗之裝置如圖11—92所示。水平長絃一端連在音叉的叉尖上，另端跨過無摩擦的滑輪而垂下，下端可懸砝碼。若敲擊音叉，或用電激發使音叉振動，絃線亦被迫隨之振動，其振動頻率與音叉的頻率

相同。當絃受一定張力，且單位長度的質量一定，只有振動長度可變。在振動長度爲某值時，絃線有一串列之波節，分成相同長度之振動線段。當張力或砝碼增加時，每段振動長度增長，振動線段數目減少。若砝碼重量爲F，線段數目恰調整爲n，則發現

$$F n^2 = 常數$$

此結果可由下式導得　$\nu = \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{F}{m}}$

式中ν爲音叉的振動頻率，l爲絃線水平部分振動的總長，m爲絃單位長度的質量。調整絃線總長度使有n個等長振動線段時，絃線即呈現橫波的駐波圖樣，波節和波腹清晰可見，此時即是共振。當未調至共振狀態時，絃線受音叉的影響而生強迫振動，可看到假的波節和波腹。這種強迫振動不僅在音叉振動方向與絃垂直時有可能，即沿絃線長度方向振動亦能發生。當音叉沿絃長方向振動時，梅耳得證明絃的音符頻率爲音叉頻率的$\frac{1}{2}$。


圖 11 — 92

【梅林轉換】(Mellin transform)

函數$f(y)$與其反函數$F(x)$有下列關係時稱爲梅林轉換：

$$f(y) = \int_0^x x^{y-1} F(x)\,dx$$

$$F(x) = \frac{1}{2\pi i}\int_{c-i\infty}^{c+i\infty} x^{-y} f(y)\,dy$$

【梅耶夫人】(Maria Goeppert Mayer 1906 — 1972)

1906 年六月二十八日生於德國，父爲哥丁根大學教授，梅耶夫人也在該校波恩指導下於 1930 年獲博士學位。同年與梅耶結婚，至美國約翰霍布金斯大學，由於規定夫婦不得在同校任教，梅耶在化學系任教，她在物理系以自願身份留下。1939 年轉哥倫比亞大學，於莎拉勞倫

司女子學院兼課。戰後赴芝加哥大學，1948年發現原子核中如質子或中子的數目是20、28、50、82或126（稱為魔數）時特別穩定，1949年在費米提示下發展成原子核的軌層模型，與德國海德堡大學的任生（*Johannes Hans Daniel Jensen*）不約而同得到同樣結果。1960年至加州大學聖地牙哥分校，1963年與任生及威格納（*Eugene Paul Wigner*）合得諾貝爾物理學獎。入選美國科學院院士，1972年二月二十日逝於聖地牙哥。

【條形磁鐵】（Bar magnet）

條形磁鐵為一種條形人造磁鐵。將一支條形磁鐵放在鐵屑附近，如圖11—93所示，則見鐵屑為其吸引而集中於磁鐵的兩端。此種磁性作用最大的地方，稱為磁極（*magnetpole*）。

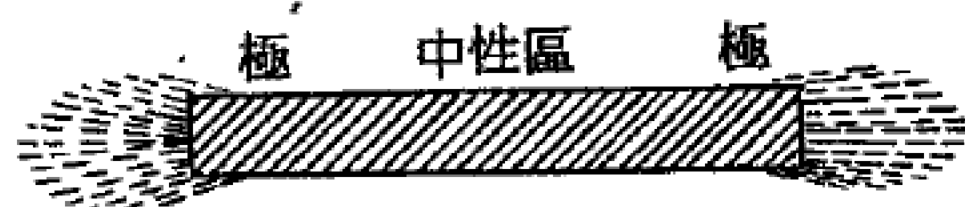


圖11—93
兩極附有鐵屑的條形磁鐵

凡為磁鐵，必有兩極。條形磁鐵的中央，並無鐵屑吸附其上，可知該處並無磁力作用，故稱為中性區或無磁區。

參閱"人造磁鐵（*Artificial magnet*）"條。

【毫】（Milli）

為一個字頭，冠於任一基本單位之前，代表此單位之 $\frac{1}{1,000}$ 。

【毫巴】（Millibar）

壓力單位的一種，氣象學上量度氣壓時，不以毫米水銀柱為單位，而是用毫巴來做單位。兩者之關係如下：

1,000毫巴＝750.1毫米水銀柱

可以非常接近地規定1毫巴＝3/4毫米水銀柱，1毫米水銀柱＝4/3毫巴。760毫米水銀柱的正常氣壓也就相當於760 × 4/3＝1,013毫巴。

【毫安計】（Milliammeter）

測量電流之儀器之一。

【毫伏特計】(Millivoltmeter)

測量電壓之一種儀器。

【毫微】(Nano)

冠於任一單位之前，代表此單位之 10^{-9} 。

【毫歐姆】(Milliohm)

即 $\frac{1}{1,000}$ 歐姆。

【氫】(Hydrogen)

氫 (H) 是最輕的元素，原子序數 1 。在天然界中氫有兩種同位素，原子量各爲 1 和 2 。第一種是普通氫，或稱輕氫；第二種是氘，或稱重氫。氫有第三種同位素，氚，原子量 3 ，是在反應器內，用中子撞擊鋰 - 6 所產生的放射性同位素。

【氫放電管】(Hydrogen discharge tube)

氫放電管的構造如圖 11 — 94 所示，是利用放電管中之低壓氫發生氣體放電，而產生亮光的裝置。

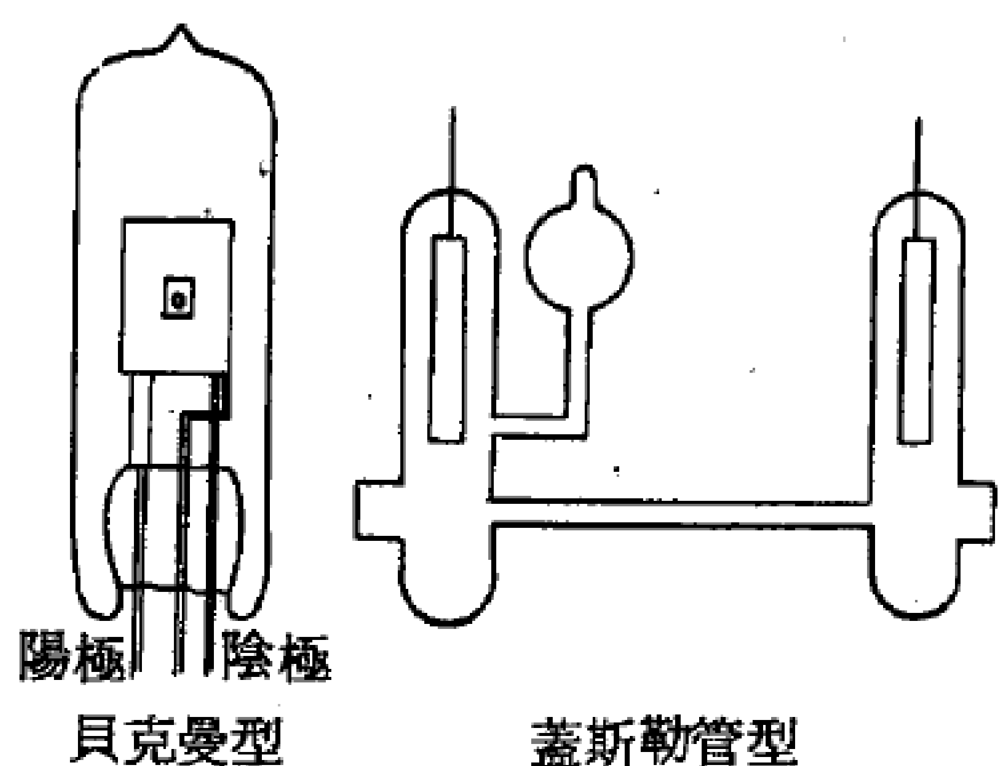


圖 11 — 94　氫放電管

氫放電管在 3,500 Å ~ 2,000 Å 範圍產生很強的連續光譜，最大能量約在 2,400 Å ~ 2,500 Å 附近，在 3,300 Å 以下範圍光譜略消失。此種連續光譜爲氫分子所發的，如把陽極區附近內面鍍銀，則可促成 $H \rightarrow H_2$ 的結合而連續光譜比線光譜強。

【氫原子之能階】(Energy level of hydrogen atom)

1. 因氫原子只有一個質子及電子，其電量均爲 1 *elem.ch.* ，故

$$E = -\frac{2.17 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ 焦耳 (joule)}$$

$$= -\frac{13.6}{n^2} eV \quad n = 1, 2, 3, \cdots \quad (1\ joule = 6.25 \times 10^{18} eV)$$

2. 當 $n = 1$ 時，即得氫原子在基態的能量爲 $-13.6\ eV$。當 $n \to \infty$ 時，其在游離態的能量爲 0 。故 13.6 eV 爲使氫原子從基態升至游離態所需供給的能量。

3. 當氫原子內的電子由第 n_i 能階躍降至較低的 n_f 能階，其所發出光子的能量爲

$$E = E_i - E_f = \left(-\frac{13.6}{n_i^2}\right) - \left(-\frac{13.6}{n_f^2}\right) = 13.6\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) eV$$

4. 氫的譜線分類

(1)來曼（*Lyman*）系—— $n_f = 1$，$n_i = 2, 3, \cdots\cdots \infty$ 所得之一組譜線。

(2)巴耳麥（*Balmer*）系—— $n_f = 2$，$n_i = 3, 4, \cdots\cdots \infty$ 所得之一組譜線。

(3)帕申（*Paschen*）系—— $n_f = 3$，$n_i = 4, 5, \cdots\cdots \infty$ 所得之一組譜線。

【氫原子光譜】（Spectra of hydrogen atom）

原子光譜之分析，係始於 1885 年。其時，巴耳麥（*Balmer*）用一簡單之公式以代表自氫放電管中所察見之一系光譜線。1906 年，來曼（*Lyman*）在邊遠紫外區域，發現類似巴耳麥系之另一氫線系。此種對原子與分子光譜之分析一直繼續至今。根據拉塞福所發現之有核原子（1911年），波爾在 1913 年創立其學說以解釋氫光譜，此爲原子物理學廣泛發展之開端。

氫原子光譜似乎包含兩部分：即一甚有秩序之少數亮線系，重疊於一雜亂繁多之微弱線系上；對於此少數明亮譜線，似乎可以視爲氫原子。而許多背景譜線，可以視爲分子；此因原子比較簡單，可以預料其發

射簡單之光譜。雖然普通氫氣爲雙原子所構成，不過在放電管中可假設電流能使諸分子分離爲原子。此一觀念可以從一事實證明之，即當電流增加時，此少數明亮譜線即增加亮度，因之表示由於電流之增加而增加分離現象。氫原子光譜之可見部分爲四條譜線所構成，惟用照相方法攝取靠近紫外區時，當可見此四線之後方，即緊隨許多譜線，並向一極限收斂，如圖11－95所示。此系中之第一線，稱爲 $H\alpha$ ，在眞空中之波長爲6,562.8 Å。

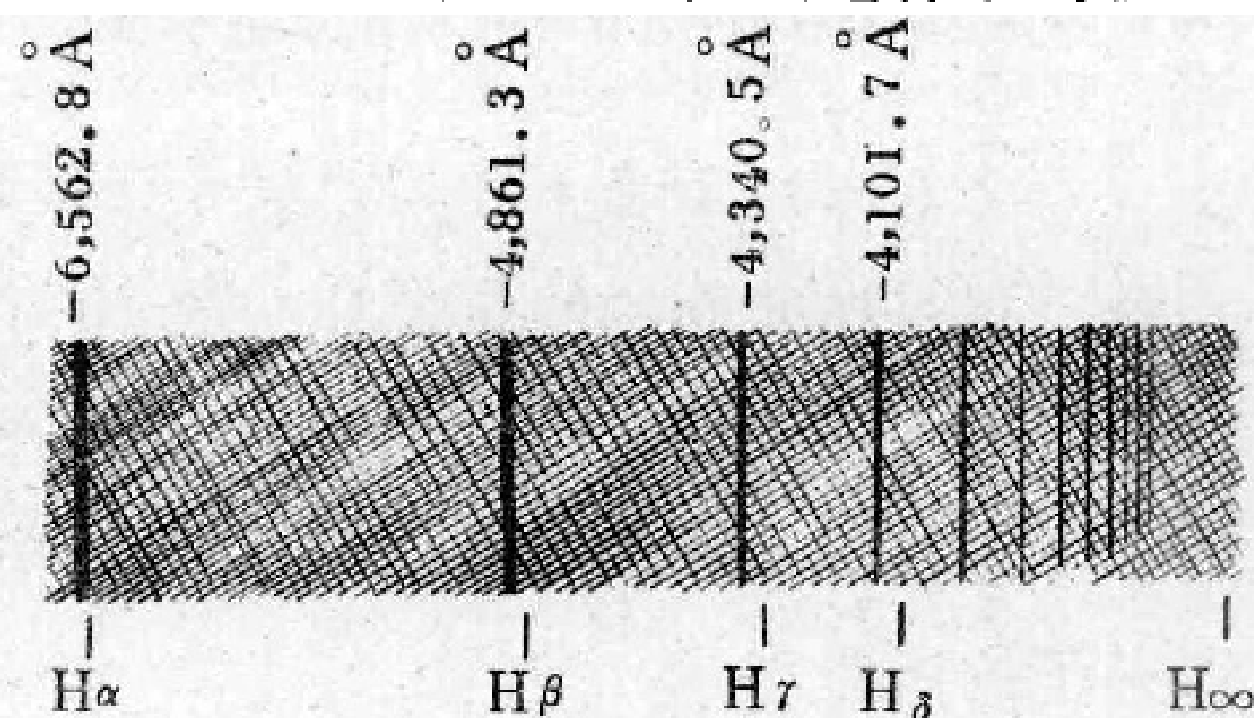


圖11－95
氫原子的巴耳麥線系，H∞爲此系理論上的收斂極限

此爲一種線系，巴耳麥用以代表此線系之簡單公式爲

$$\nu = cR\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 3, 4, 5, \cdots$$

式中 ν 爲頻率，以秒$^{-1}$表之；c 爲光速。

令 $n = 3$，公式計算之值，即爲第一線是線系中顯明之紅線。令 $n = 4$，得第二線等。最後，當 n 趨於無窮大時，得收斂極限 $\nu_c = cR/4$。R 爲一常數稱爲芮得柏常數（*Rydberg constant*），用以紀念著名之瑞典光譜學家芮得柏。其數值爲

$$R = 109,677.58 \text{ 厘米}^{-1}$$

由此數值即可知光譜量度之高度準確性。依慣例 R 係以厘米$^{-1}$表之，此因光譜線之波數係以凱（*kayser*）＝厘米$^{-1}$計之。又上式 $c = 3 \times 10^{10}$ 厘米／秒。

在邊遠紫外區，來曼發現一相似之線系，其第一線在1,215.7 Å。以一相似之公式代表此線系如下：

$$\nu = cR\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 2, 3, 4, \cdots\cdots$$

式中常數 c 、R 與上式中者有相同之意義。此線系至頻率為 $\nu_c = cR$ 而收斂。來曼線系之理論意義，由波爾學說而顯明，來曼線系即為所有一切線系之模型。之後，帕申（ *Paschen* ）復在紅外區發現另一相似之線系，以下式表之

$$\nu = cR\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 4, 5, 6, \cdots$$

實驗技術改進後，在紅外區復發現更多之如此氫線系，惟在紫外區並未發現有較來曼線系更高頻率之其他線系。

所有一切此諸線系，均可以一普遍方程式

$$\nu_{obs} = cR\left(\frac{1}{n''^2} - \frac{1}{n'^2}\right) \qquad (1)$$

表之。註腳“ *obs* ”，說明此一公式係敘述觀測頻率。在式(1)中，令 $n''=1$，$n'=2, 3, 4, \cdots$，即得來曼系。並且令 $n''=2$，$n'=3, 4, 5, \cdots$ 即得巴耳麥系。許多如此線系，示於圖 11—96 。關於紅外區之實驗知識有限，但可推知在紅外區中當有無窮多之如此線系，正如將此相同公式以大值之 n'' 所計算者相同。此公式稱為“巴耳麥公式”。

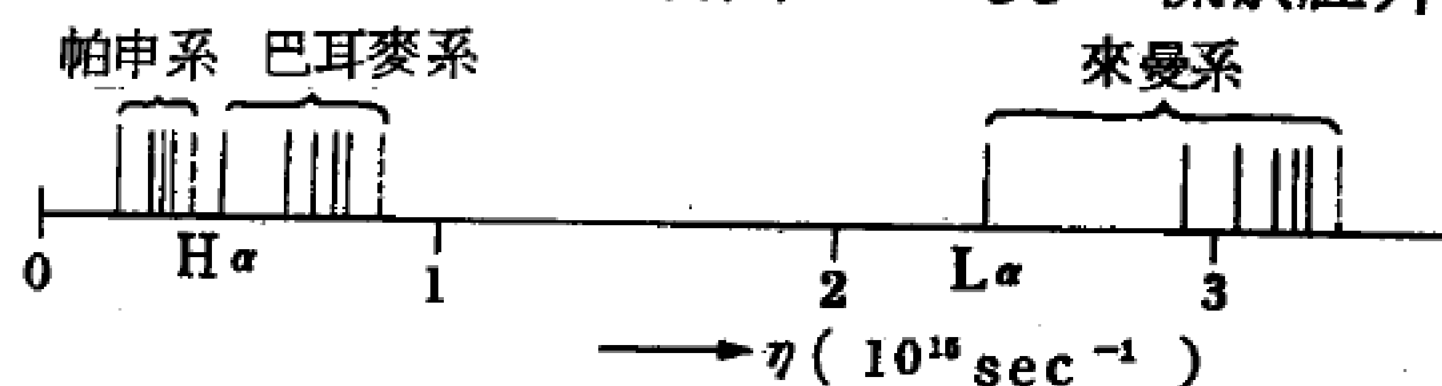


圖 11 — 96
原子氫之首三線系，虛線代表線系之極限。另尚有許多紅外線系，其頻率較諸帕申系為低者

【氫與能源】(Hydrogen and energy source)

氫自 1960 年以來，已成為美國太空火箭的主要燃料，若將其作為飛機的燃料時，飛行速度將超過音速 6 倍以上。因為氫可由人力製造，將是一種無窮的燃料。當天然的氣體、油料及煤被用罄以後，將不會再受到燃料匱乏的威脅了。

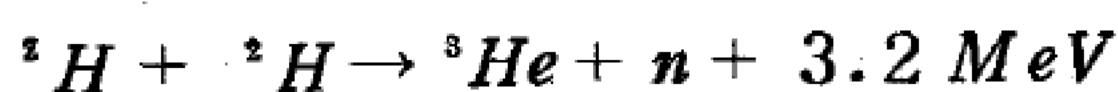
為解決世界即將來臨的能源危機，科學家們目前已發掘出的若干答

案包括“核子熔合”、“太陽能”、“大地熱能”及其他各種新能源。但使科學家們所一致困擾的問題是，這些未來的能源都是無法攜帶的。因此，工程學家們的靈機逐轉至氫能源的使用。而且他們一致認爲，由於今日全世界所使用的燃料如汽油及天然氣的日漸缺乏，價格勢必上漲；如果低廉的氫能夠大量生產，則可抑制其他燃料的價格。事實上，這一理想也就是目前科學家們所盼望的氫時代的來臨。

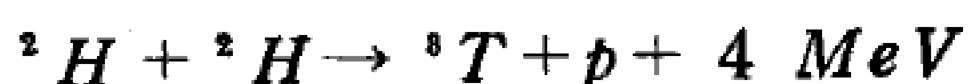
科學家們認爲，不出 50年，氫的功用將可與原子能並駕齊驅。以美國爲例，目前已安裝或正在安裝中的原子發電廠，估計到西元2,000年時，美國所需的大部分電力，均將由這些發電廠供應；可是，他們卻也需要其他方式的能源，事實上全美國所消耗的能源來自電力的僅$\frac{15}{100}$，其他如炊爨及熱力所需之天然氣及油料，係藉輸送管及車輛供應；來往如織的汽車所需的能源，則爲攜帶式燃料。因此，如果原子電能與氫燃料果能同時供應，將使人類現代化生活又進入一新紀元。

【氫彈】(Hydrogen bomb)

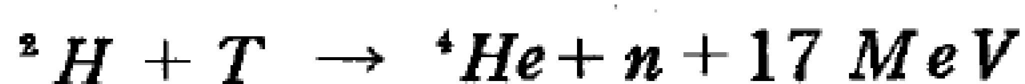
核熔合反應需要在極高的溫度下始得進行，在較低的溫度下可進行的核熔合反應均產生爲氫的同位素氘及氚，其熱核反應時可能之反應爲



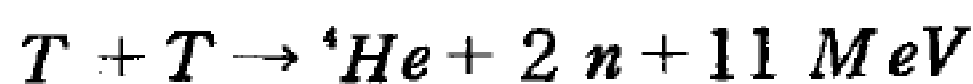
$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}He + n + 3.2\ MeV$$



$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}T + p + 4\ MeV$$



$$^{2}H + T \rightarrow {}^{4}He + n + 17\ MeV$$



$$T + T \rightarrow {}^{4}He + 2n + 11\ MeV$$

卽使是爲了要能使此熱核反應產生，溫度也必須高達百萬度以上，現在人力唯一能產生如此高溫的方法就是利用鈾或鈽的原子彈的爆炸，所以要製造氫彈就必須先製成原子彈，利用原子彈來做氫彈的信管。最初的氫彈構想，卽利用一原子彈在盛滿氘及氚之容器內引爆，其發生的熱量引發氫彈。現在一般人相信氫原子彈的主要安裝是將氘及氚裝在特別設計之中空形原子彈的中心。原子彈爆炸後所產生的能量向中心聚集

，使存在中間的氘及氚溫度驟增而產生核熔合反應。

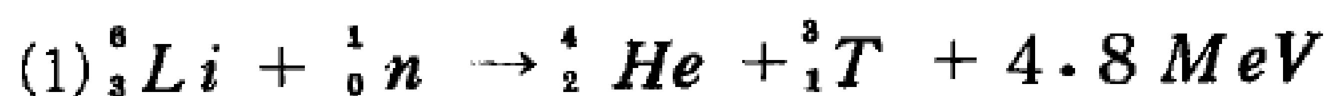
在這核熔合反應中尤其是氚的核反應產生大量的中子，這大量的中子足以增加鈾或鈽彈的爆炸效率而使威力增加。在通常的原子彈中運用“燃料”的效率並不高，因爲在燃料尙未完全參加反應前，已分裂的“燃料”所產生的能量已把剩餘燃料炸開，使連鎖反應無法繼續進行。

爲了充分利用這核熔合產生的大量中子（有高速者），在氫彈的外面包了一層天然鈾，雖然爆炸時這些天然鈾無法維持連鎖反應，但由於核熔合產生中子對它引起的個別核分裂反應，已增大了此氫彈的威力。天然鈾是價錢很低的原料，站在經濟的立場利用它是很值得的。由於天然鈾的加入，此氫彈爆炸後產生大量的放射性極強的原子塵，如常使用對全世界人類的健康均有危害。

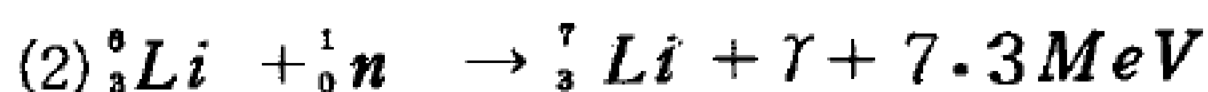
另外有一種可發展或已發展之新型氫彈或核熔合彈，它是利用輕金屬鋰之重氫（氘）化合物作主要燃料。其引爆的原理同普通氫彈相同。這種氫彈因用固體燃料，裝塡上比較方便，並且單位容積之威力亦增加，只是在引爆技巧上較爲複雜，其爆炸反應程序分別如下：

1. 普通原子彈爆發產生大量中子及熱能（或用小型氫彈作引信）。

2. 中子撞擊鋰原子核發生兩種核反應，此兩種核反應均產生大量能量。



(1) $^{6}_{3}Li + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{3}_{1}T + 4.8\,MeV$



(2) $^{6}_{3}Li + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + \gamma + 7.3\,MeV$

3. 第一種反應產生之氚（T）及鋰化氘裏的氘可藉原子彈爆炸所產生之高溫產生核熔合反應再放出更多的能量。

氫彈的威力遠較普通原子彈爲大，其放出之能量可比原子彈大 10 倍、100 倍、1,000倍，甚至於更大一些。氫彈威力比原子彈大的原因一方面固然是核熔合時單位質量所放出之能量較核分裂時所放出者爲多

，但這不是主要原因，主要原因是氫彈用材料時可不受臨界質量的限制，故炸彈威力隨加入之氘及氚之質量而增加。普通的原子彈因受臨界質量的限制，在一顆炸彈中不能存放太多的鈾 - 235 及鈽 - 239 ，否則它不需引發就自動爆炸，因而一顆原子彈的爆力就無法任意增加了。

因氫彈需用原子彈引發，所以在體積上及重量上均較原子彈爲大，投擲系統亦較麻煩，它只適用於破壞大的目標。以毀壞每平方里的地區所需的成本來算，普通用的炸彈成本最高，原子彈約節省 5～6 倍，氫彈比原子彈的成本又要低近 10 倍，這實在是對人類生存的一項重大威脅。

假定氫彈所放出之能量爲投在廣島上原子彈的 1,000倍，這並不是說這顆氫彈的破壞或殺傷範圍就比投在廣島的原子彈大 1,000 倍。因爲爆炸毀滅半徑與炸彈能量（威力）的立方根成比例。假設廣島之最嚴重毀滅半徑爲 1 哩，則此氫彈之毀滅半徑爲 10 哩而非 1,000哩。事實上因爲能量的集中中心，許多能量的重覆消耗（因爲把建築物炸成灰或倒塌均爲毀滅性之破壞，但炸成灰實消耗更多之能量）。此氫彈之眞正毀滅範圍比 10 哩還要小些。但是其燃燒或高熱輻射的威力比上面估計者要大些。人類耐熱的能力並不很高，氫彈爆炸後其所產生之能量傳播遠比 10 哩爲大，雖然這些能量已無能力毀壞建築物，但這些熱射線足以致人於死地，故灼傷焚毀的範圍半徑要比上述之原子彈大 20 ～ 30 倍。

【氫鍵】(Hydrogen bond)

氫鍵只有在氫原子介於兩個陰電性強的原子中間時才會形成。陰電性強的原子並不多，在週期表中陰電性最強的是氟，然後是氧、氮，再次是氯。因爲氫原子很小，上述元素中的兩個原子夾住一氫原子後，不容許第三者介入，否則它們的電子雲就會重疊，這違反不相容原理。

氫鍵的性質可由氫氟酸說明。當 H 原子介於兩個 F 原子之間時，因

爲 H 只有一個電子，只能和一個 F 形成共價鍵，另一個 F 則只好和別的 H 結合。但因 F 對電子的引力很強，使 H 原子變爲幾乎赤裸的質子，F 本身則幾乎是 F^- 離子。將 HF 寫成 H^+F^-，H^+ 與另外分子的 F^- 互相吸引形成氫鍵，其爲分子與分子間的作用力。在有機化合物如蛋白質中，則有分子內氫鍵。

氫鍵能影響溶解度、熔點、晶體結構的形狀和穩定。例如氟化氫的沸點較其他鹵化氫的沸點高，表示 HF 在液態中不以個別分子存在。同理，水的沸點也特別高。又如冰有一定的晶體結構，每個氧原子經由氫鍵與其他四個氧原子連結，這四個氧原子位於四面體的頂點。每個氫都介於兩個氧原子之間，三者成一直線。

【氪】(Krypton ； Kr)

週期表中第零族元素爲惰性氣體，原子序爲 36 。氪爲無色、無臭之單原子氣體，沸點爲 −152.9℃，熔點 −157.1°C，對空氣之比重爲 2.818；微溶於水。空氣中含有 0.00005 %之氪，氪可由蒸餾液態空氣而得。

氪產量稀少，用途不廣，普通皆以氦、氬等代之。其特殊用途爲製特殊放電管及雷射。

【淬火】(Quenching)

將高溫物質很快地冷卻，因爲物質的相無法立即變化，因此在高溫時的性質得以保存，或者形成一暫穩態，而得到我們希望的情況時稱爲淬火。例如鐵的硬度即由此法控制。

【深度與水壓】(Depth and water pressure)

如圖 11 — 97 (a)所示，盛水在側面開有洞的圓筒時，愈靠近底部的洞，所噴出的水愈有勁，這就是表示在愈深處水壓愈大。通常水深每一增加10 m 水壓約增一大氣壓 (1 kg/cm^2)。

如圖 11 — 97 (b)所示，以一筒底面積爲 1 cm^2 的水來說，當水深爲

10.*cm*時，水重爲10 *g*，因此容器底面所受的水壓爲10*g*／cm^2。又水深爲1 *m*時，水壓即爲100*g*／cm^2，10 *m*時爲1 *kg*／cm^2（約爲一大氣壓）。

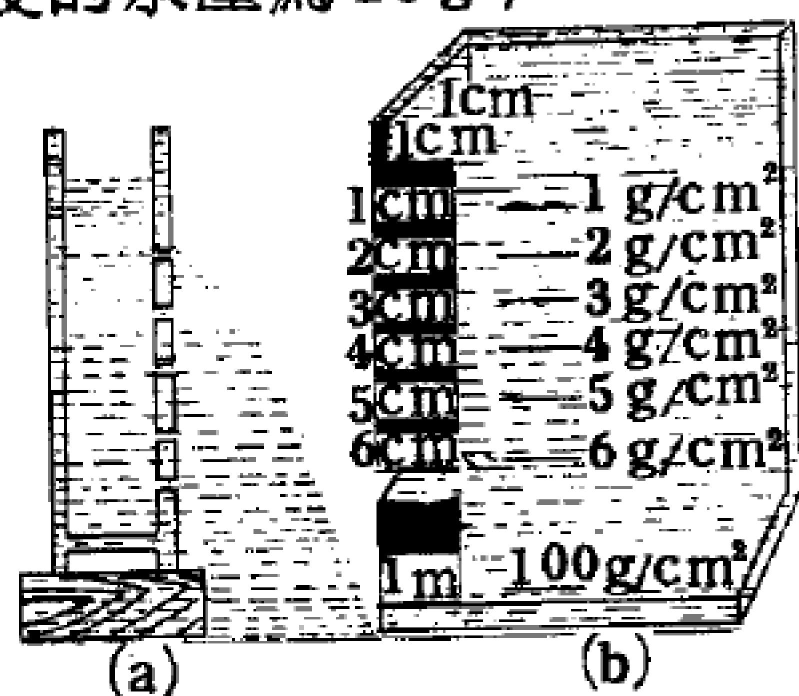


圖11－97　水深與水壓

水以外的液體情形也是一樣。例如海水1 cm^3的重量爲1.03*g*，其 10 *m*深時的壓力即爲1.03 *kg*／cm^2。通常

液體中之壓力強度＝液體之密度×深度

不論容器的形狀如何改變，底部壓力總是只由深度來決定。

【液化】（Liquefaction）

凡是氣體（汽）變爲液體的現象叫做液化，又叫做凝結（*condensation*）。其過程恰與汽化相反。液化方法一般採降低氣體溫度或加以強大壓力兩種方法，有時則低溫高壓同時進行。

從前只能夠液化氯、氨、無水亞硫酸等易於液化之氣體，其餘如氧、氫、氮、氧化碳、甲烷等氣體，無論如何低溫加壓均不能液化，因而謂此等氣體爲永久氣體。近年來科學發達，以極強之壓力加於氣體同時強冷之，能使各種氣體液化，而知凡氣體均可化爲液體。

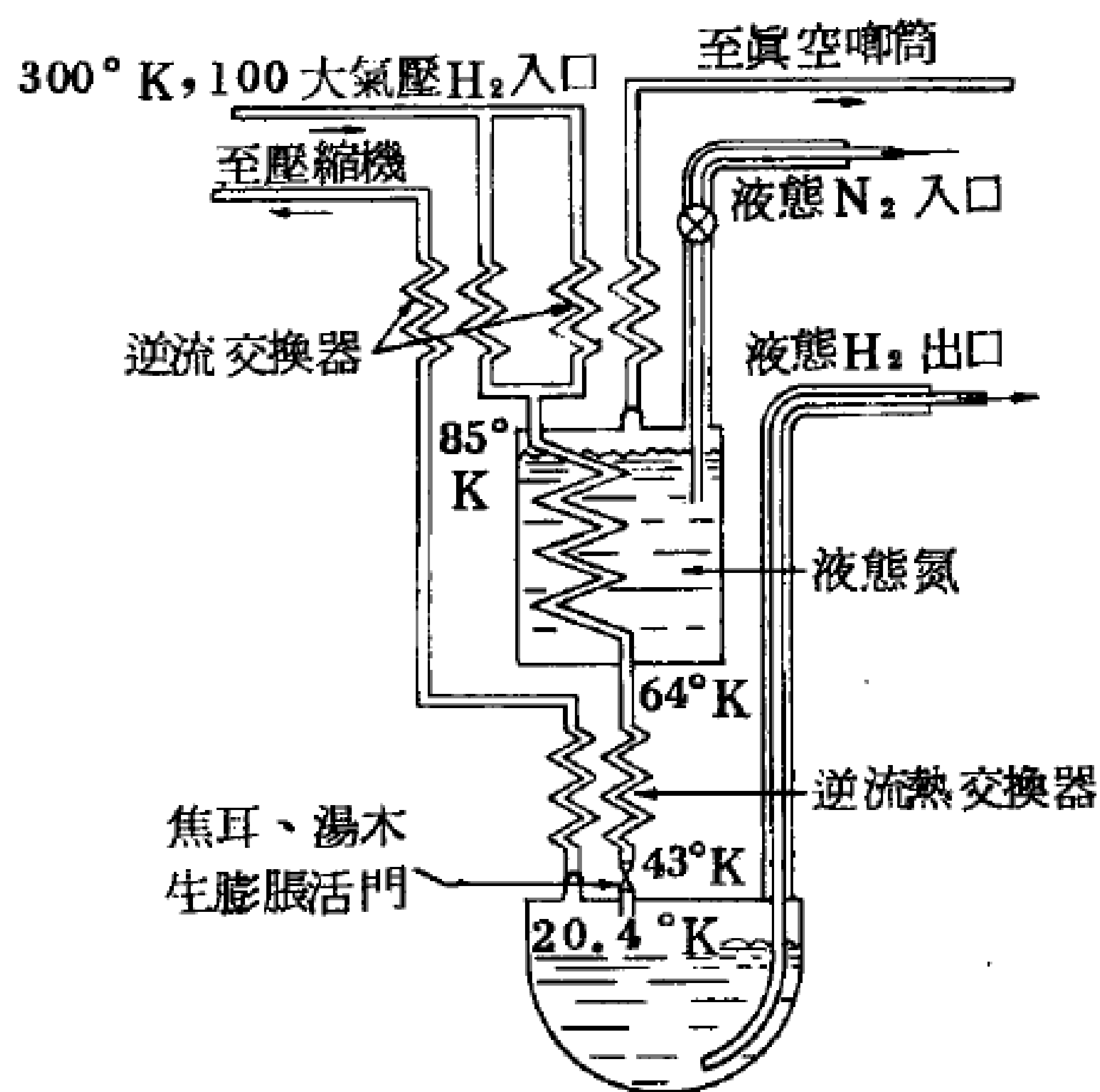


圖11－98　氫氣液化器

【液化器】（Liquefier）

假如冷凍機主要的目的是用來製造低溫的液化氣體，則稱它爲液化器。它是利用一些使氣體的溫度和貯容器的溫度，在相當

低溫時取得平衡的方法，而將氣體變成液體。通常最容易被液化的氣體不是其他氣體，而是冷凍機本身中的做功材料。

如圖 11 — 98 爲氫氣液化器，在分離液態器中以液態氮產生急速冷卻，液態氮的灌入和抽出使其本身溫度降至 64°K，從 43°K起因焦耳、湯木生膨脹效應，開始產生液態氫。

【液柱流體壓力計】(Liquid column manometer)

液柱流體壓力計可用以測大氣壓力。如圖 11 — 99，爲一端開口而一端閉口之玻璃曲管，其內盛以水銀，封少量之空氣於閉管內。用此測壓力時，將開管之端連於貯氣槽，則閉管內之水銀上升，而空氣的體積減少，由其所減少之體積，即可知所測壓力爲若干。

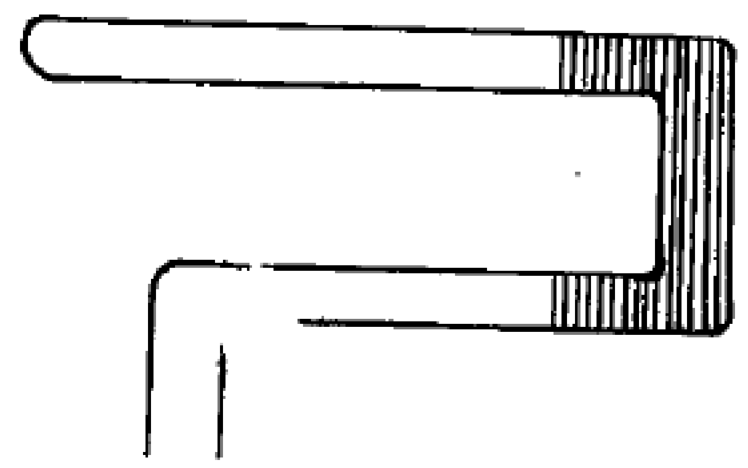


圖 11 — 99

【液晶】(Liquid crystal)

液晶屬於物質的第四態，其不是固體，也不是液體，爲介於二者之間的東西。雖然其被發現於八十多年前，但到了最近，人類才將其利用於桌上電子計算器、電子錶的文字板、薄型電視的收像管等等電子工業的範圍內，更可使用於印刷、醫療等廣泛的領域上。

液晶的最好例子是肥皂泡。如果說它是液體，卻有整然的型態。如果說它是固體，卻軟癱癱地，輕輕一壓就會支離破碎。要明瞭液晶之前，必須對液體與固體，有一個明確的概念。

石頭與鐵器等固體都是非常堅硬而不易破碎。而液體的代表——水，卻以原來狀態，就能放進各色各樣，不同型態的容器中，也能用手來攪拌它，而能隨機應變。這是因形成物質的分子與原子，在固體時，排列井然有序，而有牢固的連結。液體就七零八落，而沒有絲毫連繫性。

液晶是在某一溫度範圍內的物質之一種狀態。比這一個範圍更高溫時，就會變成液態；反之，更低溫時，就會變成固體。不過並不是所有

物質都會變成液晶狀態，水與蠟燭就絕不會變成液晶。

液晶可分爲三類：即(1)向列液晶（*nematic liquid crystal*），(2)距列液晶（*smetic liquid crystal*），(3)膽醇類液晶（*cholesterol liquid crystal*）。

在顯微鏡下，肥皂的主成分的分子如蝌蚪狀的東西，雖排列於肥皂泡的膜的內側與外側，但在內部，肥皂分子與水並不排成隊伍而成爲錯綜混雜的狀態。因此內部是液體，嚴格說來肥皂泡並不是液晶。但從肥皂水中減去水分，成爲只含 20％程度的水分時，肥皂的膜只含少量水分而變成液晶狀態。

普通絕對不能形成這樣的肥皂泡，在生物身體中的生體膜即與此極爲相似。一般的說液晶必須用化學合成的方式來製造。要使液晶實用化，必須以室內溫度，來合成會變成液晶狀態的物質。這是一件極端困難的工作，因爲要使其變成液晶，其分子中必須含有棒狀或面狀的有機物。

如果一物質具有方向性，在電子工業就能利用於各色各樣的用途。可是，固體分子的結構非常堅牢，要使其朝往某一方向，必須要有強烈的電氣。液晶因不做有連繫性的排列，因此，電力不必太大。在數字與文字的標示板等，比起固體的發光二極眞空管（*diode*），只需它的千分到萬分之一程度的電流就足夠。這就是液晶能在電子工業上發出萬丈光芒的最大原因。

液晶如果用電氣與磁氣的力量來弄亂其排列方式，就會變成白濁狀態的性質。舉例來說：一敲打桌上電子計算器的8的鍵盤，放進液晶的文字盤上就會有8字型的電流通過，而發出白濁。在此會有周圍的光線碰觸，其反射光就會在我們的眼中映出8。因其不必使用電力，只用電池就足夠達成目的，故用液晶的桌上電子計算器，早在美國實用化。

像這種文字與數字的標示裝置，在電子時鐘、電話等，也能利用於

這邊打去的號碼，對方打來的號碼的標示。利用其對光線的方向性能與極端小量的電力消費量，正在研究製造超薄型的電視。此外，利用其對溫度的變化性質，也可從事照片一般，能變色的彩色印刷。只要明瞭其在溫度上的幾度，就會變成何種顏色，就可將其貼在瓶上或罐上，利用它來觀察在冰箱中是否變成適當的溫度。

癌細胞的溫度要比正常細胞高，因此，可預期利用液晶的顏色變化來診斷皮膚與乳癌。在電波與氣體中液晶的顏色也會發生變化，因此對檢查電子烤爐的電波漏洩與氣體的溢出也頗有效力。雖然實用化方面還留有許多問題，但因它有廣泛的應用範圍，各界莫不期待它在今後的發展。

【液態】(Liquid phase)

在特定條件下，物質若以液體型式存在，則此時此物質之狀態稱爲液態。

【液態金屬燃料反應器】(Liquid metal fuel reactor ; L.M.F.R.)

如圖 11 — 100 所示是一種均態式(*homogeneous type*)熱滋生

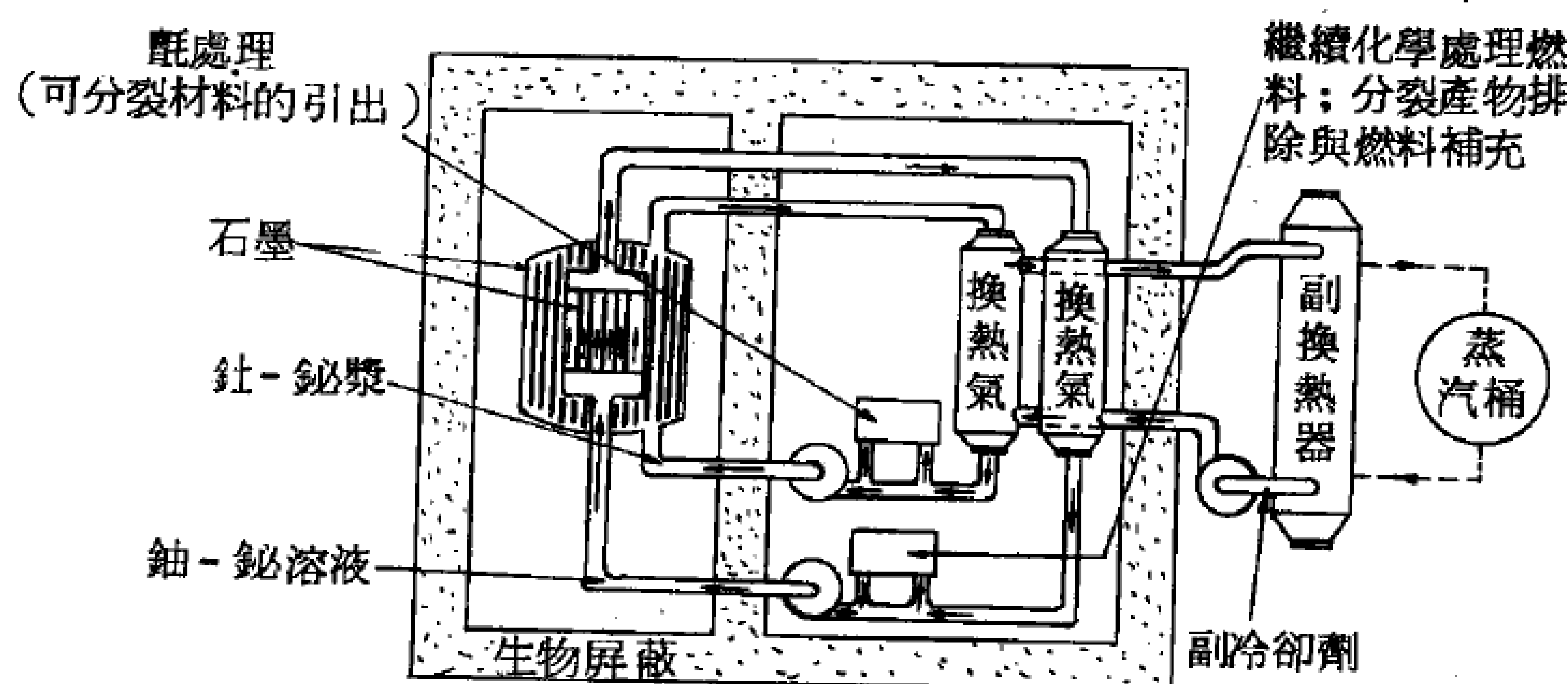


圖 11 — 100　液態金屬燃料反應器

反應器。燃料爲鈾 - 233溶在用作緩速劑的元素鉍 (*Bi*)、石墨或元素鈹 (*Be*) 以內的溶液，故稱爲液態金屬燃料反應器。這反應器也可使用釷 (*Th*) 和鉍混成漿狀的氈。並和均態水反應器 (*H.A.R.*) 一樣

，燃料（引出分裂產物）和甿（引出釷所滋生的鈾－233）的化學作用將會繼續進行。

於圖 11—100 中，液態金屬燃料反應器所使用的緩速劑爲石墨、鈹（*Be*）或鈹氧（*beryllia*）；燃料爲鈾－233溶於鉍（成溶液）；甿爲釷與鉍相混（成漿狀）；建造材料爲用於溫度範圍在550℃左右者爲低合金鋼，諸如 $\frac{2.25}{100}$ 的鉻（*Cr*）、$\frac{1}{100}$ 的鉬（*Mo*），或 $\frac{1}{100}$ 的鉻／$\frac{0.5}{100}$ 的鉬。用於較高的工作溫度者爲鈹（*Be*）、鉭（*Ta*）、鉬（*Mo*）及鈮（*Nb*）。現正考慮用這些材料作爲鋼的被覆用，其工作溫度爲 550℃。

【液態氧】（Liquid oxygen）

製取氧的方法通常是用液態空氣在低溫時用分餾法將它和液態氫分離，因爲氧和氫的沸點不同。氧是僅次於氟的最強氧化劑，在化學火箭及鋼的製造中，差不多所有的氧都用於產生氧化作用。在美國液態氧的生產每天有好幾千噸，醫藥上的氧雖然使用的是氣體的形式，根據經濟的觀點也時常以液體形式運送或儲藏起來。

【液態氦】（Liquid helium）

液態氦是製造液態氧過程中的副產品，近年來產量漸漸增加並且愈有利用價值。它的化學性質不活潑，通常用來產生一個安全、無反應的低溫環境，以供研究和商業目的之用，如鋼的收縮配合和回火。因價錢便宜，在裝運易腐的東西方面，已被用來代替乾冰和冷凍機。

氦是唯一需要高壓、低溫雙管齊下才能液化的物質。其他氣體只要予以充分冷卻，其原子間的力就足以使大批原子排列成相當規則的型式。氦可說是一個明顯的例外；氦原子間的作用力剛好能把原子距離拉近以形成液體，但不足以使之成爲固體。

氦原子間的吸力最爲微弱，卽使略高於 4°K（－269°C）之低溫，氦原子仍保持氣態，0°～4°K 時，氦卽可以液化，但在此溫度下所有別的物質都早已成爲固體了。由於溫度極低，氦原子之熱運動（*thermal movement*）很微弱，故其原子間的微弱引力仍足以把它們束縛在一起。4°K 以下氦原子間的引力雖足以使它們成爲液體，但仍無法將這種極輕的原子結合成固體。如在 4°K 左右再加以甚大之壓力（約 100 大氣壓或每平方吋 1,500 磅），氦原子才會排列成有規則的形式。

若繼續冷卻至氦之躍遷溫度 2.19°K，則液體的性質就變得十分不平常。例如，所有其他液體都有黏滯性。如果使液體通過毛細管，或者促使它透過一層沙，由於液體內部有黏滯性，而其與管壁又有摩擦之故，通常並不能迅速通過。但若使液態氦冷至 2.19°K 而加以同樣處理，便可發現其快速移動而完全沒有阻礙。它在直徑 10^{-4} 吋的毛細管中進行，彷彿水之暢流於大水管中。液態氦的另一次驚人的性質卽其傳熱之能力。當然不能將大量的熱放入液態氦中而不使其溫度升高，但它卻能將少量的熱以聲速傳遞。

因此，液態氦似乎有兩種：一種是溫度在 2.19°K 以上，另一種則在 2.19°K 以下；它們分別被稱爲液態氦Ⅰ及液態氦Ⅱ。現在對液態氦Ⅱ的病理學的性質已有一部分了解，它可以說是合作現象的一個有趣的例子。在許多顯露這類性質的實驗中，有一個實驗帶來了噴泉效應（*fountain effect*）。將底部開口而頂端連有毛細管的容器浸於裝有液態氦的缸中，容器頂部的細管則通入空氣。如果將少量的熱引入正中之容器，譬如以電線中之電流或者甚至用光照射，就有液體自毛細管噴出如噴泉，只要熱量繼續供應，噴泉便可繼續向空中上升。

液態氦的雙流體模型（*two fluid model*）能解釋上述情形及其他一些特殊性質。假設液態氦Ⅱ事實上是兩種不同流體的混合。第一種稱爲超流體（*superfluid*），有所有奇異的性質，很大的導熱率及極小的

甚至沒有黏滯性；另一種則是一般所謂的正常流體。當氦Ⅱ被加熱接近躍遷溫度時，超流體分量逐漸減少而正常流體則漸增，直至臨界溫度時，混合物中便沒有任何超流體存在。只要有超流體存在，混合物就有很良好的導熱性，而且正常流體不能通過的出口，超流體卻能輕易流出。雙流體模型很簡單地說明噴泉效應的原因。超流體很容易流進浸於液態氦缸中容器的底部，在容器中加熱時，其中超流體成分減少而正常流體成分增多以求平衡，容器外缸中超流體即由底進入，因之引起壓力差而使噴泉開始。

為什麽會有兩種流體？這一問題在過去二十年中曾引起許多一流的科學家思考。理解液態氦行為的最好途徑似乎是研究在液體中的聲子。絕對溫度零度時，液體中是沒有聲子的。稍稍加熱聲子即出現，加熱愈多聲子亦愈多。這些聲子彼此相撞，其在許多方面頗似氣體原子。在這些情況下，超流體可被視為液態氦的主體。正常流體事實上不含任何聲子而僅有原子。聲子氣體在超流體中流動，所以原先以為是兩種流體之混合物者，結果卻只是一種以流體為底的氣體，熱即在液體中以聲速傳遞，因為聲子實在就是聲音。

要將這種合作現象用一套前後呼應的數學理論來表達，是一件極其困難的事，其中問題很多最顯著的是兩個氦原子之間作用力的定律具有非常複雜的性質。所以理論物理學家集中精力於一個簡單的模型，因為他們認為這一模型能夠代表某些眞正液態氦的性質。模型是一個有許多硬球的氣體，這些硬球當然不像氦原子能夠互相吸引，不過當它們碰在一起時，便有互相排斥之力。這樣的氣體應當包含聲子，因為若在一點引起擾動，便會有一種類似聲音的壓縮波發生而在其中進行，這種波的量子就是聲子。因為任何液體的特性多半是由其分子結合的方式而定，硬球氣體並不是眞能代表液態氦的模型。這個模型的優點在其接近實情，而又能說明眞正情形的一些特點。此外在討論硬球氣體在低溫時所需

的數學，幾乎也已達到近代分析技術的最大限度。

理論的結果有賴於量子力學者很大，換言之，它們不能以古典物理論來說明。氦Ⅱ的雙流體模型之部分性質現在已獲得解釋，這些成績特別得力於哥倫比亞大學的李政道及普林斯頓高級研究所的楊振寧，兩位中國物理學家的精彩合作。他們發現在硬球氣體中，聲子的行爲在很多方面都與液態氦中正常流體的熱學及力學性質相當。

關於液態氦有一點很重要。自然界中有兩種氦的同位素，其一爲 ^4He，其原子核有兩個中子及兩個質子；另一種 ^3He，其原子核則有兩個質子和一個中子。^3He 在自然界中爲量甚小，必須以冗長而困難的精製方法才能搜集到。在化學方面，甚至在某些物理方面，這兩種氣體幾乎是無法區別的。^3He 較輕，其由氣體凝爲液體的溫度亦較 ^4He 略低，其他一般流體性質則相同。然而在牽涉氣體分子能量之統計分佈的量子論現象上，這兩種氣體就有強烈的不同。因爲 ^3He 遵守不相容原理而 ^4He 則否，這些分佈的公式在低溫時也有顯著不同。在量子物理學中，^4He 是個波子，^3He 是個費子。關於液態氦的性質是否很敏感地因這些統計分佈公式而定，曾有過好幾年的爭論。至於在未經擾亂的流體中有聲子的存在，則對 ^3He 及 ^4He 同樣有效。

究竟量子統計分佈對解釋低溫時液態氦的行爲是否有很大的決定性，最直接而主要的試驗便是觀察液態 ^3He 是否與液態 ^4He 有相同行爲。數年前已有足夠的 ^3He 來做這個實驗，結果發現 ^3He 在所有研究中都保持正常，研究的最低溫度曾極近於絕對零度（百分之幾度）。所以氣體的量子性質顯然有極大的重要性，這結論也已在李、楊分析低溫硬球氣體行爲的理論之中。在溫度繼續減低時，^3He 的行爲將會如何？至今仍未完全明瞭。理論上有理由可以假設溫度降至極低時，^3He 也會變成某種超流體。不過至今所達到的最低溫度並未顯示任何不正常的行爲，很可能在所能獲得的任何低溫下，^3He 將仍爲正常液體。

【液態氫】(Liquid hydrogen)

氫原子核(僅由一質子組成)是最簡單的原子核，可以用它來發展和實驗核子理論。例如供研究高能粒子之液態氫氣泡室(*bubble chamber*)，科學家以它來研究高能粒子和質子之間的互應作用，這種作用要比粒子和較重、較複雜原子核間之作用來得簡單。

液態氫是一種危險且容易起反應的物質，甚至在空氣中它都會引起爆聲和氧化合成水(H_2O)，這種反應是目前所知的最有力的化學反應中之一種，目前氫和氧已被應用至化學火箭中。氫的另一種全然不同的性質，在洛凡耳計劃(*Rover project*)下，已被用來發展核子火箭，國家航空學會和太空管理處(*N.A.S.A.*)及原子能委員會(*A.E.C.*)正聯合在努力地研究。

【液態氮】(Liquid nitrogen)

在高壓低溫下可將氮氣壓縮為液態氮，液態氮之沸點為 $-195.38°C$ ，而氮氣之存量豐，無毒性，可做為冷凍時之優良冷凍劑，其用於冷凍車之裝置如圖 11 — 101所示。

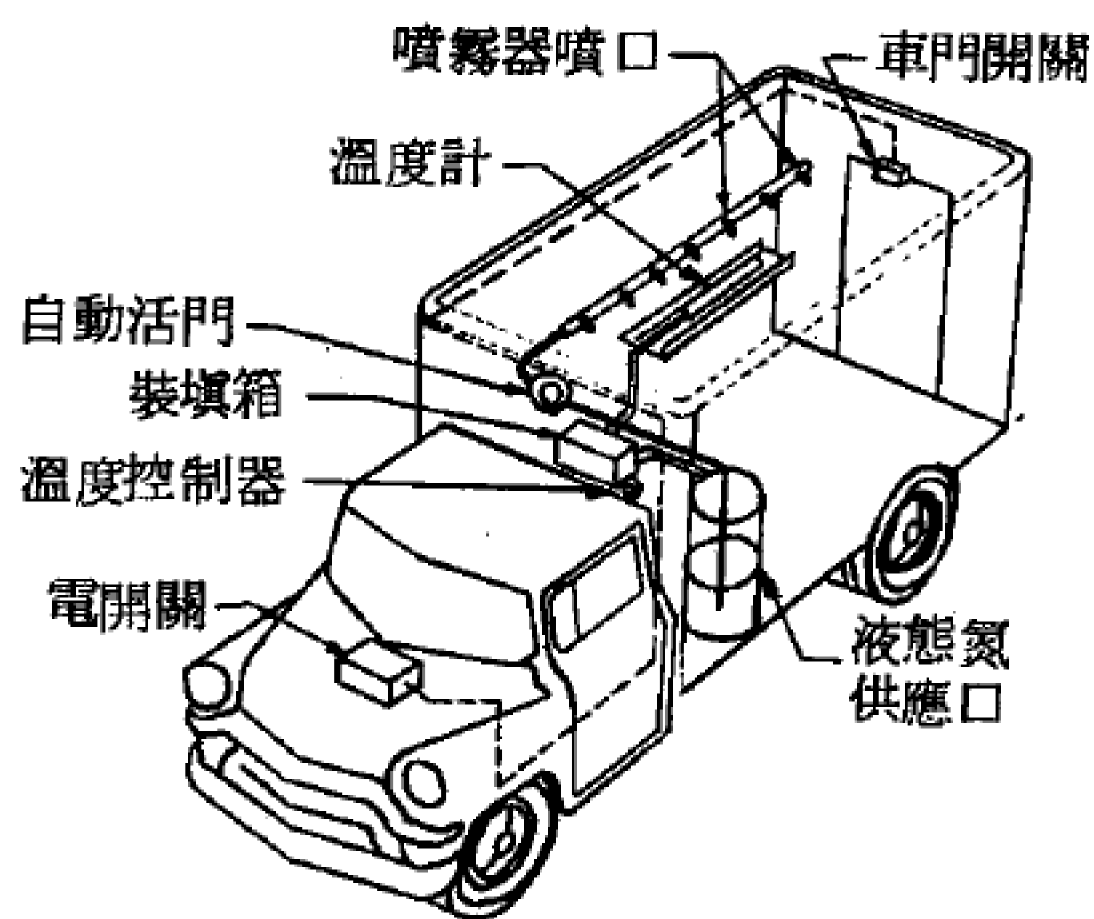
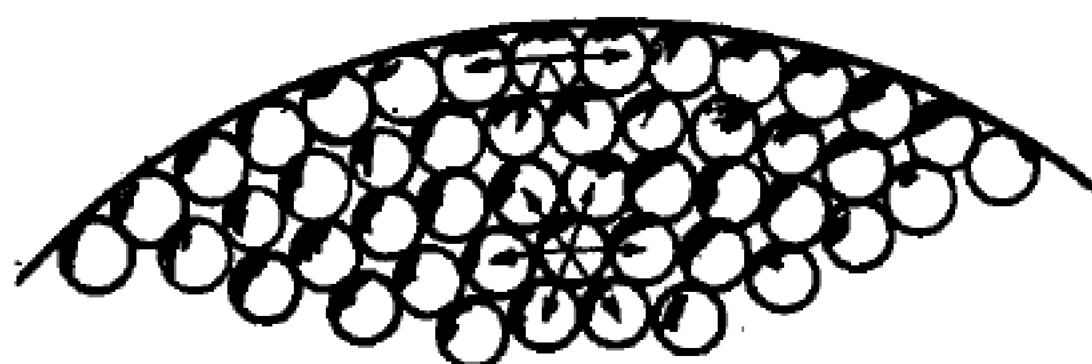


圖 11 — 101　典型的液態氮冷凍車

【液滴模型】(Liquid drop model)

1937 年波爾(*Bohr*)提出液滴模型，以說明原子核的構造。這一模型是基於一個基本的假定，與費米(*Fermi*)氣體模型的假定完全相反。波爾假定核粒是一粒細子的液滴，就像液體分子一樣，由於一種極大內聚力，使核粒結合在一起。費米氣體模型假定核粒間互相不作用，液滴模型則以類似液滴的表面張力來想像核粒間的作用。如圖 11 — 102 所示表面張力作用的情形。

一分子在液滴的內部受四方鄰近分子相等的吸力，平均所受總力爲 0，但在表面上的分子，其上方不受吸力，僅受下方吸力，故表面上每一分子皆受其他分子吸力而被拖向液滴的中央，致保持液滴的自由表面爲最小值，故液滴呈現圓形。水的表面張力爲每平方厘米 75 達因，水銀的表面張力爲每平方厘米 465 達因，核液滴（*nuclear fluid*）的表面張力極爲巨大，約爲每平方厘米 9.3×10^{19} 達因，相當於每平方厘米 8,300萬噸的力。幾個小液滴聚合即成大液滴，核粒聚集愈多，核液滴也愈大，當核粒內聚力和靜電相斥引力相等時，原子核成爲穩定狀態。此時原子核像水滴一樣，保持圓的形狀，兩作用力達成平衡。如受外來能量激發，核子液滴立即變形，於是兩作用力即成不平衡。此時核液滴向四方振動並不斷加劇，結果可使液滴分裂爲二個小液滴。液滴模型用以解釋重原子核分裂反應很爲圓滿。核粒間的靜電相斥引力隨粒子數增加而增大甚速，而核粒表面張力隨核粒增加而增大較緩。由於重原子核靜電相斥引力效應較表面張力效應爲大，故重原子核吸收一中子後，很容易分裂爲二個穩定的輕原子核而放出多餘的能量。例如以中子轟擊鈾－238原子核，形成不穩定的水滴如鈾－239原子核，其即分裂爲氪（*Kr*）和鋇（*Ba*）兩原子核，如圖 11 — 103 所示。


圖 11 — 102　液體表面張力

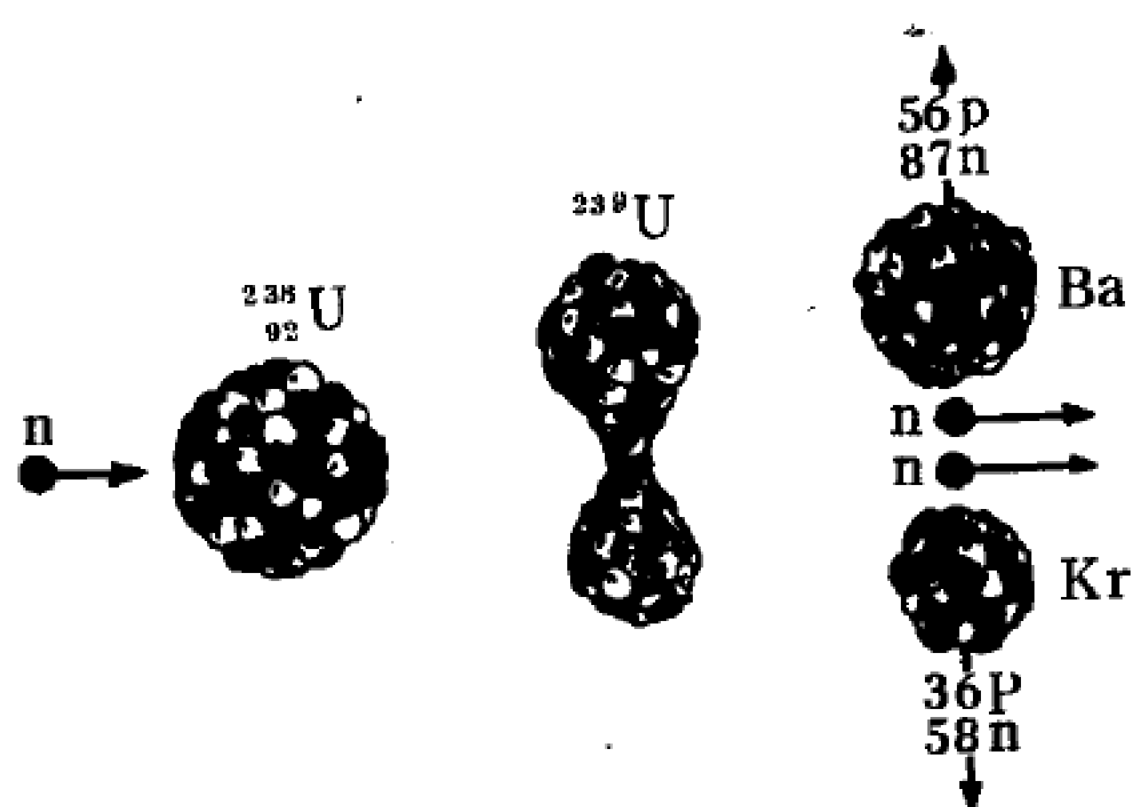


圖 11 — 103
鈾-238 受中子衝擊之分裂情形

【液體】（Liquid）

液體是物質的三態之一。液態的物質雖有一定的體積，但其形狀隨

容器的改變而改變。液體極易流動故又稱流體。

液體分子間之內聚力較固體甚小，故分離其一部分時，殆無抵抗之力，由是入液體於容器內，可任意汲出其一部分。又二固體相接觸時，若移動其一則沿接觸面有反抗運動之靜止摩擦力，作用於反對方向，液體無此性質，故液體形狀容易改變，無論入於何種容器內均流動而成容器之形。

液體之形雖易變，然壓縮之時其抵抗力甚大，故欲壓之使其容積縮小甚難，即液體雖無形狀之彈性而有容積之彈性，又急使液體形狀變易時覺稍有抵抗，此種性質謂之黏性（*viscosity*），各種液體之黏性不同。

非晶體固體，如玻璃、蠟、塑膠等，雖有一定形狀，但仍會有永久變形，故有時可視作黏性非常大的液體。

【液體之水平壓力】（Horizontal pressure of liquid）

液體之水平壓力與深成比例，如圖11—104，若容器內之密度爲 d，從 A 或 B 至液面之高爲 h，則器壁上 A 點及 B 點所受之水平壓力均爲 hd，即水平壓力愈近底部愈大；隄防之底部較厚卽此理。

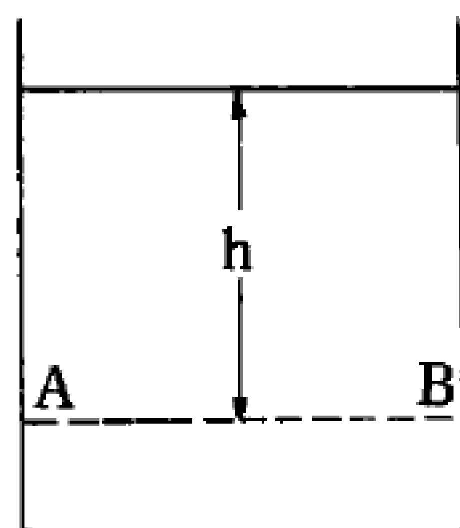


圖11—104

【液體之向下壓力】（Down pressure of liquid）

液體之向下壓力與其深成比例，且任一點之向下壓力與其向上壓力相等，此可以實驗明之。如取一無底圓筒，以薄金屬片蓋其底，入水中，則由向上壓力之作用，金屬片底不致落下，水不致浸入筒內。然若入水於筒中，至水面與筒外之水面相齊時，則金屬片落下，蓋因此時筒底金屬片所受之向下壓力，爲筒中水柱之重量，所受之向上壓力，爲筒所排除之水之重量，二者相等而反向，遂相消而等於零，故金屬片受重力作用而落下。

【液體之向上壓力】(Up pressure of liquid)

在靜止液體內設想一點，其點之液體靜止，則其點從各方面所受之壓力必相等而平衡，故不僅從上面有向下作用之向下壓力，從下面亦必有向上作用之向上壓力，向上壓力之大小與向下壓力等，亦與水深成正比例，此可以實驗證明之。如盛水於器中，取一金屬板，以絲繫之，將絲通過筒，以蓋覆於筒底，提緊絲，令蓋不致落下，將筒沒入水內，則雖放絲蓋亦不落，水不致浸入筒內，是即水有向上壓力能支持之證明。沒入水中愈深，底蓋所受之向上壓力愈強，次以水入筒內，水漸深則底蓋所受之向上壓力漸減，及筒內水面與筒外水面齊高時則底脫落，因此時底蓋所受之向上壓力與向下壓力等而相抵銷，故底蓋因其受重力而下落。由此可知向上壓力與向下壓力等，而等於從底面至液面高之液柱重量。

【液體之表面】(Surface of liquid)

靜止之液體，其表面恆爲水平，否則其表面上必有一部分高一部分低，如圖 11 — 105，設 B 處較 A 處高 h 厘米，而液體之密度爲 d，則在與 A 同一水平面上而在 B 下之 C 點，所受之壓力較 A 處之壓力大 hd，由是 C 點之水必向 A 處流，此時水不靜止，故靜止之液體表面恆爲水平。

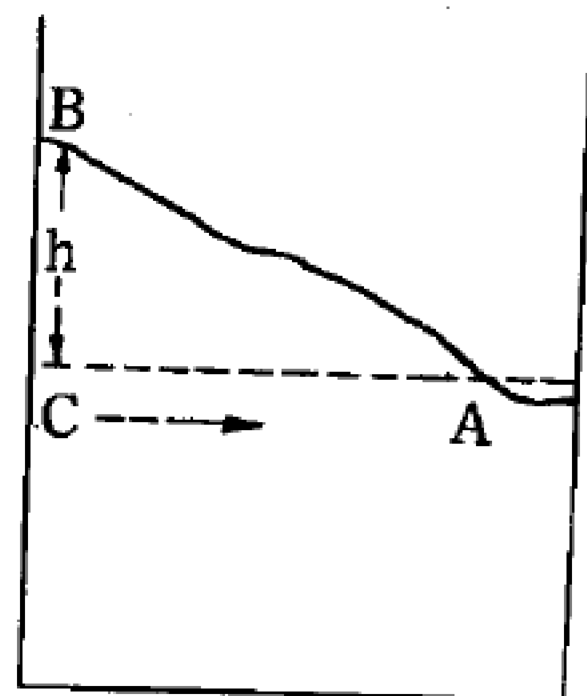


圖 11 — 105

【液體之浮力】(Buoyancy of liquid)

較水輕之物體，入水則浮起，以絲懸物體入水中測其重量，則其重量減少，可知物體沒入液體內，液體必有一種之力，能向上支撐之，此力謂液體之浮力。

物體在液體中時，失去若干重量，其所失之重，等於其同容積液體之重。

液體之浮力向上作用，而物體之重量向下作用，故物體若較液體重

，則A沉於器底，相等則浮於液中，較輕則浮於液面。而此時液體之浮力等於物體之重量，即物體浮於液面時，其所排除之液重與其重量相等。茲將物體浮沉之條件述之如下：

1. 物體之密度較液體之密度大時，即物體之重較液體之浮力大時，則物體下沉。

2. 物體之密度等於液體之密度，即物體之重與液體之浮力相等時，則物體浮於液體中。

3. 物體之密度較液體之密度小時，即物體之重較液體之浮力小時，則物體浮於液面上。

【液體之對流】(Convection of liquid)

液體對流現象之產生，是因氣體受熱密度不均勻，密度大的向密度小的部分流動之故，如燒開水時，壺底的水先受熱，密度變小，故上部的水流向底部，底部的水被擠向上部，此種現象稱爲液體的對流。

【液體之蒸氣壓】(Vapour pressure of liquid)

於某溫度下液體與其蒸氣保持平衡時之壓力，稱爲該液體在該溫度下之蒸氣壓。液體之蒸氣壓隨溫度而異，其關係可用克勞修士、克拉泊壤(*Clausius-Clapeyron*)方程式表示之。即

$$\frac{dp}{dT}=\frac{p\,\Delta H_{vap}}{RT^2} \qquad (1)$$

ΔH_{vap} 爲液體之蒸發熱或汽化熱。它不僅依物質而異，且因溫度而變。一般溫度愈高，蒸發熱愈小。至臨界溫度時蒸發熱即變爲0。因此對某一定液體，蒸發熱可用溫度之函數表示如下：

$$\Delta H_{vap}=\Delta H_0+\alpha T+\beta T^2+\gamma T^3+\cdots\cdots \qquad (2)$$

上式中，ΔH_0、α β、γ、……對於所定液體皆爲常數，將(2)式代入(1)式，得 $\dfrac{dp}{p}=\left(\dfrac{\Delta H_0+\alpha T+\beta T^2+\gamma T^3+\cdots\cdots}{RT^2}\right)dT$

$$= \left(\frac{\Delta H_0}{RT^2} + \frac{\alpha}{RT} + \frac{\beta}{R} + \frac{\gamma}{R} T + \cdots\cdots \right) dT$$

積分之 $\quad lnp = -\frac{\Delta H_0}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\alpha}{R} lnT + \frac{\beta}{R} T + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{R} T^2 + \cdots\cdots + A'$

A'為積分常數。

$$\therefore log\ p = A + \frac{B}{T} + C\ logT + DT + ET^2 + \cdots\cdots\cdots$$

但 $\quad A = \frac{A'}{2.303} \qquad B = -\frac{\Delta H_0}{2.303R} \qquad C = \frac{\alpha}{R}$

$\quad D = \frac{\beta}{2.303R} \qquad E = \frac{\gamma}{2 \times 2.303R}$

或 $\qquad log\ p = A + \frac{B}{T} + f(T)$

因 C、D、E 之值甚小，所以若忽略不計則得

$$log\ p = A + \frac{B}{T} \qquad (3)$$

由(3)式得知 $log\ p$ 與 $1/T$ 成直線關係。

【液體之膨脹】(Expansion of liquid)

液體受熱溫度升高時，體積會膨脹，液體因無一定形狀，故無線膨脹(*linear expansion*)，只有體積膨脹(*cubical expansion*)，其體脹係數(*coefficient of cubical expansion*)比固體大，而比氣體小。

一般液體均隨溫度升高而體積膨脹，但是水例外，水於 4℃ 時之密度最大，4℃以上或以下密度均漸減而體積膨脹。吾人定義 1 cm^3的水重為 1 g，即是以 4℃的水為基準的。

酒精和水銀溫度計之設計，均是利用液體膨脹的原理製成。

【液體之壓力】(Pressure of liquid)

以力作用於物體，則物體起運動，若有物阻之使不能運動，則物體

以同大之反作用作用於所阻之流體上時，此反作用便稱為壓力。液體受重力作用恆欲向下流，然為器壁及器底阻止不能向下流，故器底及器壁恆受壓力作用，如圖 11—106，以液體盛於周壁垂直之容器內，此液體受重力作用雖欲向下流，然為器底所阻不能流下，故以等於液重之力，下壓器底，器底面 *cd* 部分所受之壓力，等於 *abcd* 液柱之重。

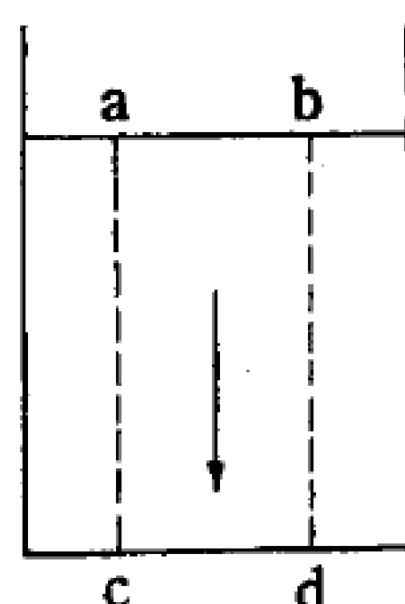


圖 11 — 106

靜止液體之壓力不僅作用於器底，液之內部各處均有壓力作用，且其壓力之方向恆與受壓力之面成直角。試在液內設想一表面，其兩面所受壓力之方向，必均與其面成直角，若不然則沿此表面切線之方向，必有若干大之分力，而液體必取此方向運動不能靜止，故靜止之液體其內部之壓力恆與受壓力之表面成直角。

設 P_1 為液體內 A 點所受的壓力，P_2 為 B 點所受的壓力，兩點間的垂直距離為 h，液體的密度為 d 時，則其壓力差的關係式為：

$$P_1 - P_2 = hd$$

通常建築隄防或安裝水桶箍時，必須把隄的下部或靠近桶底的地方，建造得特別牢固，這就是因為入水愈深，各方向所受到的壓力也愈大的緣故。

液體內部之壓力，其強度與其深成正比例，且壓力之值恆以作用於單位面積上壓力之大小表之，是謂壓力之強度或僅謂之壓力，而作用於全表面之壓力謂之全壓力。

欲求深 h 厘米處之壓力強度時，先於其處設想一 A 平方厘米之水平面，則此面所受之全壓力，等於以 A 為底，高 h 之液柱之重，設其重為 P 克，則壓力之強度如下：

$$壓力之強度 = \frac{P}{A} 克之重 = \frac{P}{A} g 達因（dyne）$$

總言之，液體因爲重力的作用和它的流動特性，當液體靜止時液體內以及接觸面上各點所受的壓力，均遵守下列各定律：

1. 靜止液體的壓力必定與接觸面成垂直。

2. 靜止液體內同一水平面上各點，所受的壓力完全相等。

3. 靜止液體內某一點的壓力，對任何方向均必相等。

4. 靜止液體內上下兩點間的壓力差，等於以兩點間的垂直距離爲高，單位面積爲底的液柱重量。

【液體之壓縮係數】(Compressibility of liquid)

由於重力之關係，液體本身可產生一種壓力。此外液體也可以由於外界力量作用於其表面而產生另外一種壓力。例如，將一個有重荷的活塞，如圖 11 — 107 所示，壓在密閉於一個圓筒中的液體之表面上，便會發生此種現象。在此種情形下，液體雖受到強大的壓力，但是卻顯出了如下的一種顯著的特性，那就是液體並不因壓力而有多大的收縮，事實上其被壓縮的程度是極其微小的。

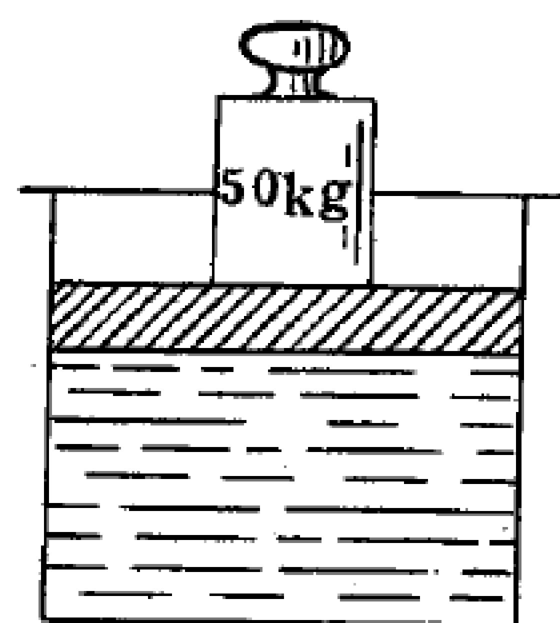


圖11 — 107
液體由於外界壓力而受到壓縮

例如水在 1 大氣壓之下（ $1.033\frac{\text{仟克}}{\text{厘米}^2}$ ），只有 50/1,000,000 的體積會被壓縮。如果圖 11 — 107 中的活塞面積爲 50 厘米^2，則 50 仟克的重荷可產生 $1\frac{\text{仟克}}{\text{厘米}^2}$ 的壓力，大約相當於 1 大氣壓。因此，在容器中的 1 公升的水，其原有體積就只有 $\frac{50}{1,000,000}$ 公升 = 0.00005 分米^3 = 50 毫米^3 會被壓縮。在 1 大氣壓之下，酒精的壓縮係數爲其體積之 $\frac{120}{1,000,000}$，而水銀則爲其體積之 $\frac{3.9}{1,000,000}$。由這些液體的壓縮係數，可知一切液體幾乎都是不可壓縮的。如果將外界壓力除去，則液體即可仍然回復至原有體積之大

小，而顯示出一種所謂體積固定性的特質。與此相反，液體的形狀都是沒有固定性的，這就是說某一定量液體並無特有而常存之形狀。液體經常都是以容器之形狀爲形狀的；而固體則具有顯著之體積固定性及形狀固定性的特徵。

【液體比重計】(Liquid hydrometer)

在日常作業中常須測定液體的比重。牛乳或酒精經摻水後，不但品質會受影響，比重也會引起變化；質言之，牛乳的比重會減輕，酒精的比重則會加重。蓄電池放電時，硫酸因吸水而減輕比重，充電時則適得其反，因此可以用硫酸的比重來判斷蓄電池的電壓情況。在所有這些例子裏，比重的測定都非簡捷方便不可。液體比重計又稱爲浮秤如圖11—108，就是爲了能夠迅速測定液體的比重而設計的。液體比重計係用圓柱形的玻璃空心體所製，下端有一玻璃球，球內裝的是鐵質小彈丸或水銀。這可使比重計在被檢定的液體中浸沒到足夠的深度，並能穩定地垂直浮立在液體中，也就是當它受到任何搖動時，又能自動地回復垂直的靜止位置。

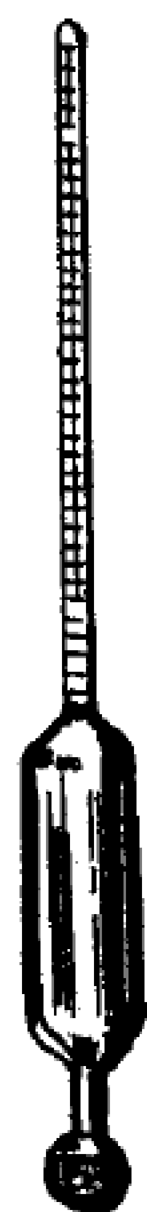


圖11—108 液體比重計

液體比重計的長管子上，常刻有下列數字的標度…0.7，0.8，0.9，1.0，1.1，1.2，1.3…。當液體比重計在液體中沉至0.9的標度時，便能立刻知道所量度之液體比重爲0.9。使用此種儀器，物體只會沉到被其所排除之液體的重量，恰好等於它自身重量的那種深度爲止。因此，液體比重計在比重較輕的液體裏，比在較重的液體裏要下沉得更深。例如它在酒精裏，就會比在摻水的酒精裏下沉得更深；在純牛乳裏比在摻水的牛乳裏較淺。將比重測定計依次插入比重漸減的各種液體裏，如硫酸（1.8）、水（1.0）、醚（0.717）等，則其下沉的程度必逐漸加深（圖11—109）。因此，較大的比重必位於標度的下部，較小的比重則位於其上部。標度本身當然先要經過校

準，並且依照各種液體的比重來校準，或者直接依照所需測定之液體的特殊性質，如酒類的酒精成分，牛乳裏的脂肪成分，硫酸裏的純酸成分等等來校準；例如一支稱爲酒精測定計的標度便須按照酒精百分比來校準。這樣的測定計如果下沉到標度 80 時，其所測定的就是 $\frac{80}{100}$ 的酒類，也就是 100 份酒中含有 80 分的純酒精和 20 份的水。

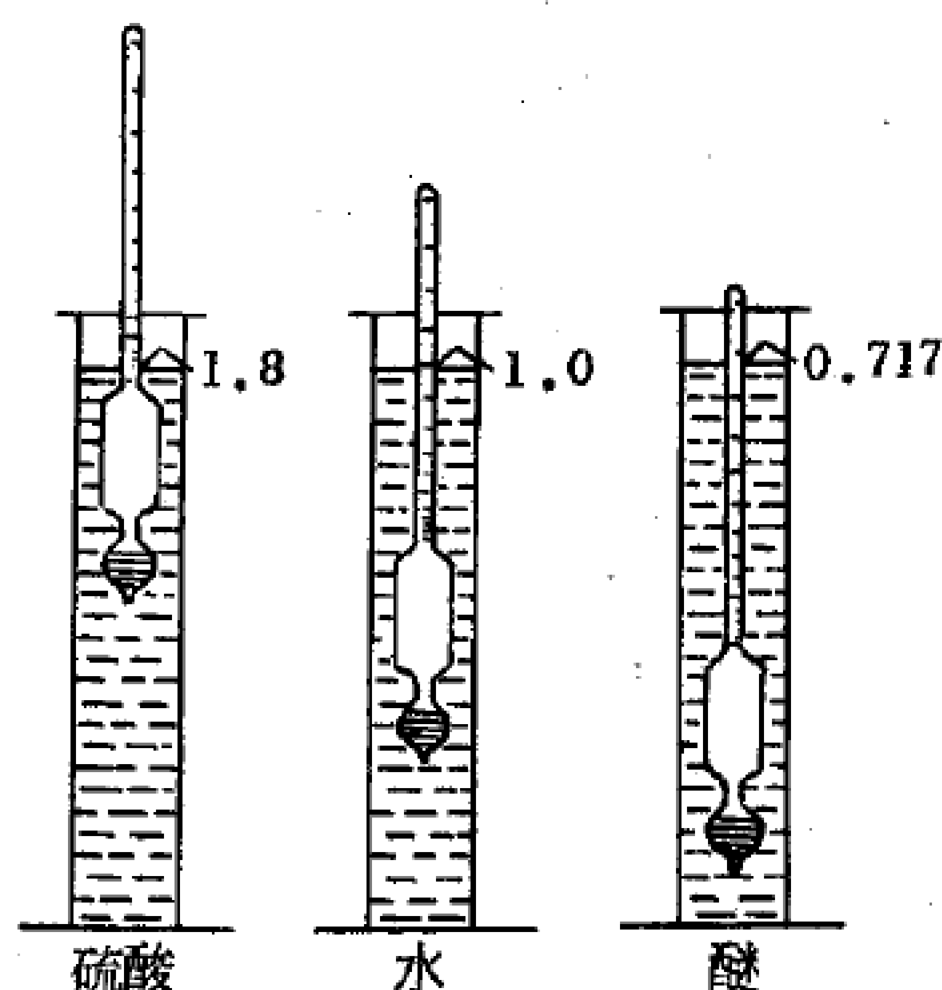


圖 11 — 109
液體比重計在比重愈輕的液體中沉得愈深

【液體閃爍計數器】(Liquid scintillation counter)

1950 年代早期新墨西哥州的勒斯、阿勒摩斯科學實驗室的兩位科學家萊納斯(*Frederick Reines*)和科灣(*Clyde.L. Cowan*)，造了一個很大的閃爍計數器，希望證明或反證微中子(*neutrino*)的存在。微中子是一種難以捉摸的，不帶電、沒有質量的粒子。它們已經在 20 多年前，解釋顯然相同的核種(*nuclide*)何以能發射不同能階的 β 粒子的理論中，被預言存在。

根據理論只要有發射－β 粒子的原子發生，微中子就會存在。基於這個論點，萊納斯和科灣相信，華盛頓州理契蘭(*Richland*)地方的漢佛(*Hanford*)原子工廠的反應器，在核子燃料分裂時應該會產生高密度的微中子，因此，他們到漢佛設立微中子捕獲實驗，他們的方法是檢定並計量某一定能階的 γ 射線。爲了完成這個實驗，他們造了一個大到可以讓人爬進去的液體閃爍計數器，並用屏蔽使 γ 射線不至於擾亂這實驗，結果他們成功地發現所要找的粒子，同時發展了可以研究人體的儀器。

裝載槽可裝一個 6 呎 4 吋高 260 磅重的人，人躺在裏面然後將它滑

進計數器內，頭的後面有鉛塞用來關閉圓槽增加屏蔽，此型計數器內設有緊急按鈕，假使在裏面覺得不舒服時可以按它，可是多數的計量在5分鐘內就可完成，所以這按鈕很少使用。

當裝載槽移到定位的時候，偵檢器的液體幾乎完全將人包圍了，所以 γ 射線的捕獲量爲日內瓦計數器的 2 倍。

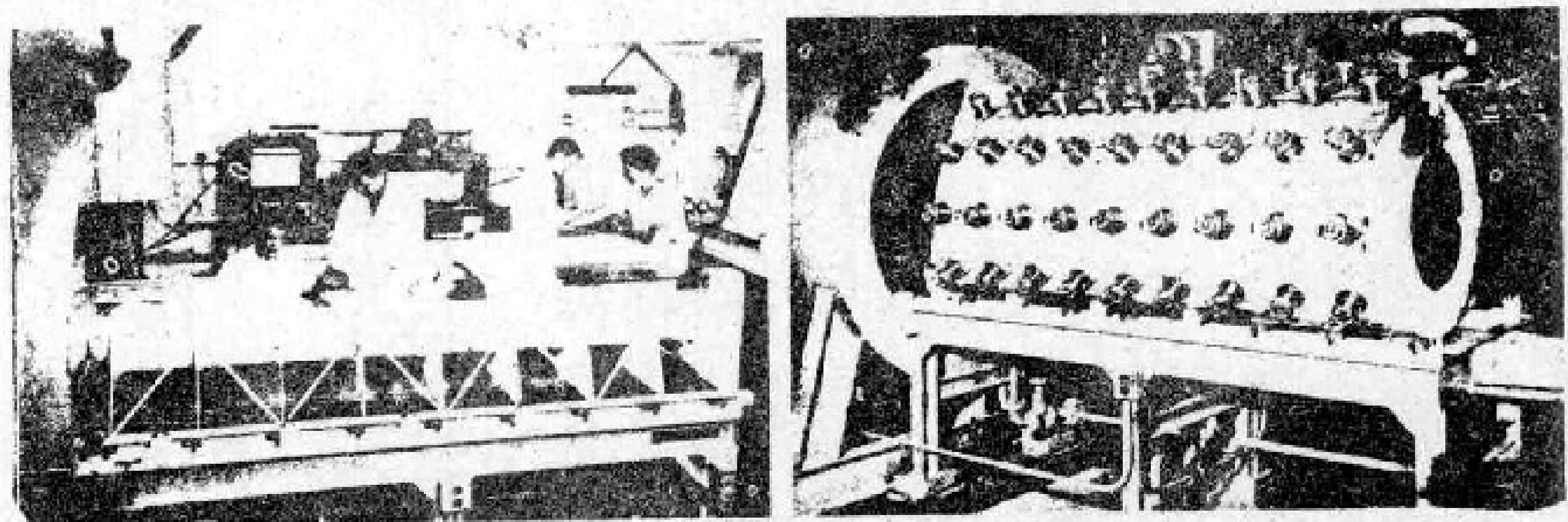


圖 11 — 110
勒斯、阿勒摩斯 4 - Pi 液體閃爍全身計數器。右邊是同一計數器，只是將屏蔽移掉的 108 個光電放大管中的五組

每一種放射性物質所發射的 γ 射線都有它的特性能階。全身計數器能夠測量這種特殊的能階譜或是稱作爲“指紋”的，因此它可以驗明某種輻射是由那一種原子產生的。在閃爍液內產生的光子數和射入的 γ 射線能量成正比，如鉀 - 40 所發射的 γ 射線，它的能量爲 1.46 *MeV*（百萬電子伏特），銫 - 137（^{137}Cs）則爲 0.66 *MeV*，當這兩種放射性原子核在閃爍液內同時產生閃光時，光電放大管產生兩種不同強度的電子脈波，然後用多頻路脈波高度分析器（*multichannel pulse height analyser*）分析它們的類別，同時記錄每一種放射性原子核的脈波數。

【液體溫度計】（Liquid thermometer）

液體溫度計乃是利用物體受熱膨脹之原理設計，以爲測定溫度的儀器。

液體溫度計有水銀溫度計（*mercurial thermometer*）與酒精溫度計（*alcohol thermometer*）。也有能記錄測定時間內最高溫和最低溫度的最高溫度計、最低溫度計、最高最低溫度計（*maximum and minimum thermometer*）等。

水銀溫度計一般用於水銀的凝固點（ $-39^{\circ}C$ ）與沸點（ $357^{\circ}C$ ）間溫度的測定。而酒精的沸點（ $78^{\circ}C$ ）較低，故酒精溫度計則使用於較低溫（ $-100^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$ ）的測定。

在特定溫度附近的微小溫度差的測定，則使用特種的溫度計，稱爲貝克曼溫度計（ *Beckmann thermometer* ），可測到 $\frac{1}{100}{}^{\circ}C$，特別是使用於物理化學實驗，由沸點上升量、凝固降下量等測定分子量。

液體溫度計之構造，如水銀溫度計有棒形溫度計、雙管溫度計二種。前者則在玻璃毛細管內封入水銀，而在玻璃表面刻有刻度，價格低，機械強度大，但用久後刻度會逐漸消失而不好讀。後者是在透明玻璃的外管內封入裝水銀的毛細管與刻度板。價格高但耐溫度的急變，且刻度不易消去。

貝克曼溫度計則在 $5^{\circ}C \sim 6^{\circ}C$ 的溫度範圍內，把每 $1^{\circ}C$ 分成 $\frac{1}{10}$ 刻分劃。此溫度計的特長是在上部有水銀來調節水銀量，使此溫度計能在任意溫度附近使用。

使用液體溫度計時應注意下列事項：

1. 以垂直方向，把溫度計立於欲測物體（氣體或液體）內，放置相當時間，又物體量要有相當量以上使插入溫度計以後，也不會有溫度變化。

2. 溫度計的玻璃很容易損壞，注意不要給與機械的衝擊或急激的溫度變化。

3. 如有檢定表則利用它作溫度校正。但是經過長時間後，玻璃會有收縮變化，此溫度計應重做檢定。沒有檢定表的溫度計則使用標準溫度計檢定它。

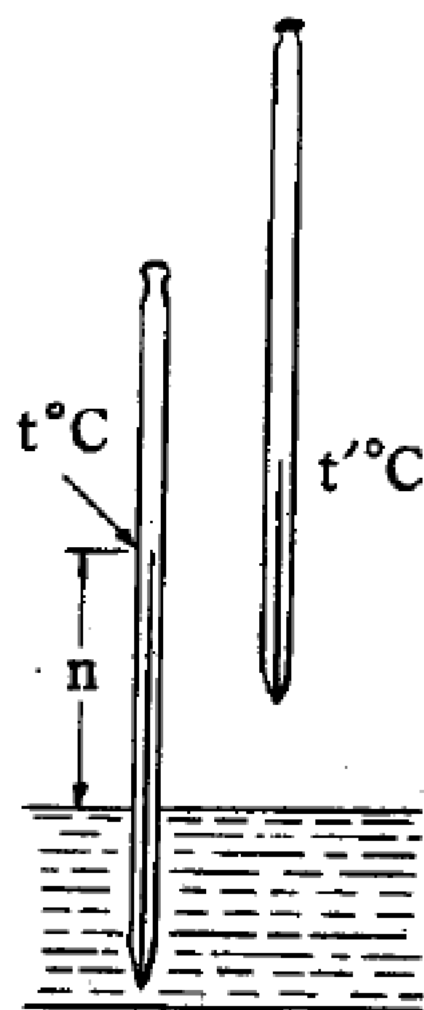


圖 11 — 111
對於露出部的補正

4. 讀溫度計之刻度時，要使眼睛與刻度之高度相同後讀取。

5. 對於露出部需要由下式作補正

$$dt=\frac{n(t-t')}{6,000}$$

式中n爲溫度計露在外面的刻度，t爲溫度計的指示度數，t'爲露出部中間附近的溫度，使用另一支溫度計測定它。1／6,000爲玻璃與水銀的膨脹係數差。正確溫度爲$t+dt$。

6. 水銀柱不要有中途斷空情形。如有中斷情形，則輕輕的敲溫度計上部使它接起來。

7. 測定液溫時，不要把溫度計當做攪棒，攪拌液體。

【液體膨脹係數之測定】(**Determination of coefficient of expansion of liquid**)

液體膨脹係數之測定有兩種方法：

1. 比重瓶測定法——膨脹係數之測定極爲困難，因容器本身亦往往同時膨脹。譬如說，用水銀將比重瓶(*hydrometer*)充滿，然後再將其放在水浴中加熱，由於因熱而膨脹的緣故，致使水銀向上升高。但是如此所量出的膨脹，僅是一種外觀上體積之增加，這也就是水銀與容器二者膨脹之差數。因此，必須要先由已知的玻璃的線膨脹係數，來算出容器所膨脹的體積，再將其數值加到水銀的視膨脹(*apparent expansion*)數值上去，最後才能再由這樣所得到的水銀的實膨脹(*real expansion*)數值算出它的膨脹係數。

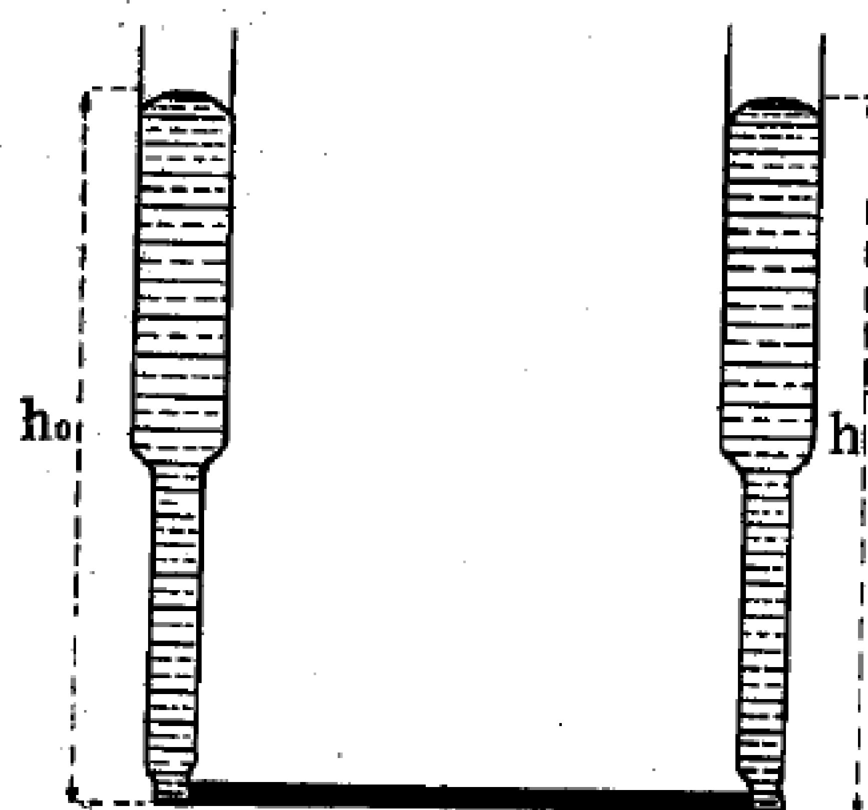


圖 11 — 112
根據杜隆與泊替法來測定水銀之容積膨脹係數

2. 杜隆(*Dulong*)與泊替(*Petit*)之測定法——可以與容器之膨脹不發生關係。將某一種液體，注入連通容器中(圖 11 — 112)，並以正在熔解的冰塊，圍住左邊的管子；至於右邊的管子，則必須使其浸入於

一個已知為 t° 溫度的油浴中。根據不同比重之液體在連通管件中之定律，則 $s_0 \cdot h_0$ 必須等於 $s_t \cdot h$，其中 s_0 與 s_t 乃分別代表 0° 與 t° 時之液體比重。將上述值代入 $s_t = s_0/(1+\beta \cdot t)$ 式中，並求解 β，則可得式如下： $\beta = (h - h_0)/(h_0 \cdot t)$

【液體壓力之傳達】(Transmission of pressure of liquid)

圖 11 — 113 為有 *ABCDE* 五口之器，其五口同大均有活塞嵌之，以水入於此器內，以若干大之力加於活塞 *A*，則其餘四活塞受同大之壓力，此蓋因與 *A* 接近之水，先受壓力而欲運動，然無論欲向何處運動，均被其鄰近之水阻止，故以其所受之力壓四鄰之水，其被壓之水亦以同大之力壓其四鄰之水，故其各部均受 *A* 處壓力同大之壓力，即 *A* 處所受之壓力傳達於各處。

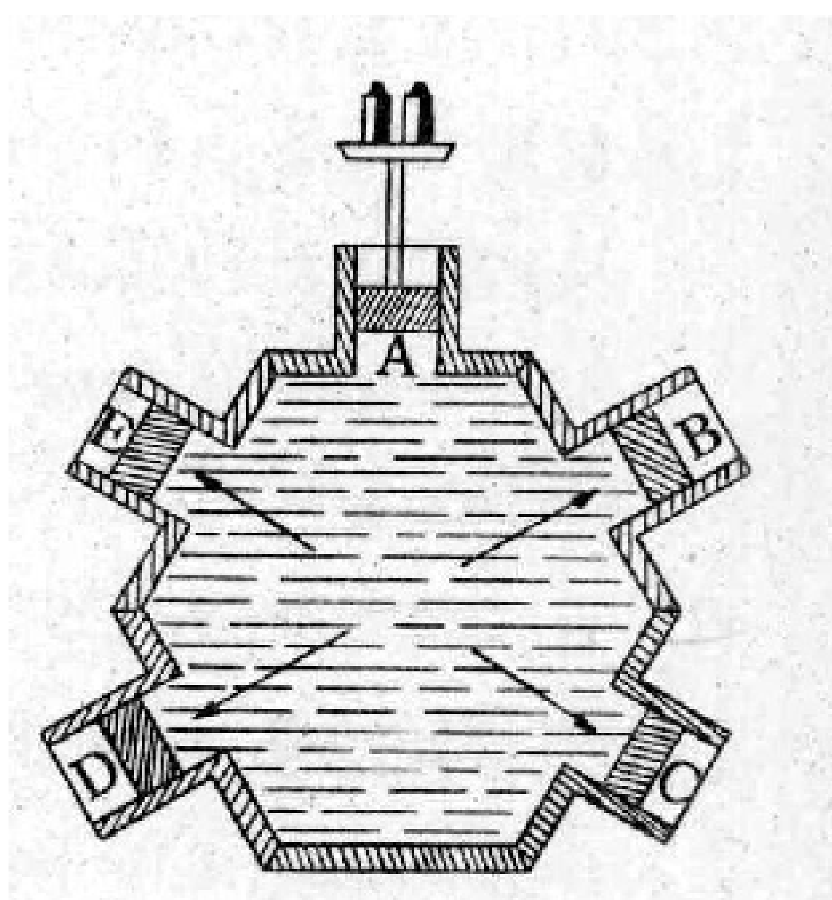


圖 11 — 113

氣體亦有此性質。凡流體以若干大之壓力，加於其一部分上，則其壓力無增減向四方一樣傳達，是謂巴斯噶原理 (*Pascal's principle*)。使液體壓力增大法，圖 11 — 114 為底部連通之粗細二圓筒，其內入以水而將上口加以活塞，以壓力加於其一活塞上，則其壓力向四方傳達，故他筒內之水以同強之壓力壓活塞使向上，設活塞之面積為 1 平方厘米，將其上加100克之壓力，則 *B* 筒之活塞上，亦受同強之壓力，即其每 1 平方厘米上，均受 100克之壓力，若 *B* 之全面積10平方厘米，則其所受之全壓力為 100×10，即仟克之壓力，故知 *B* 之面積較 *A* 大 10 倍，則所受之全壓力亦增大 10 倍。

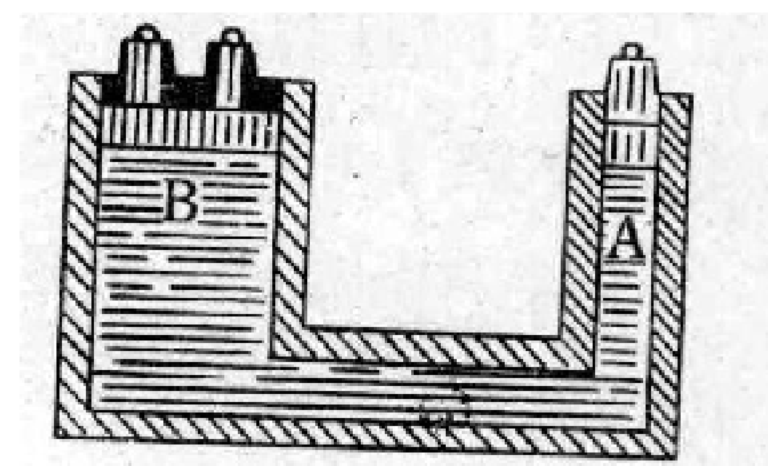


圖 11 — 114

設 *A* 之面積為 *a* 平方厘米，*B* 之面積為 *b* 平方厘米，加於 *A* 之全

壓力爲 p 克，則其壓力強度爲$\frac{p}{a}$，令 B 處之全壓力爲 p'，則其壓力強度爲$\frac{p'}{b}$，然 B 處與 A 處壓力強度相等。則

$$\frac{p}{a}=\frac{p'}{b} \text{ 即 } p'=\frac{b}{a}p$$

即 B 之面積愈較 A 大，則以小力加於 A 上，B 處愈受大壓力。利用此理可作水壓機以壓榨各物。

【液體壓力計】(Liquid pressure gauge)

液體壓力計乃爲測定液體或氣體之壓力而設計者，其可分爲：

(1)測定錶壓(*gauge pressure*)——指大氣壓力以上的數值。

(2)測定絕對壓力(*absolute pressure*) ——指眞空以上的數值。目前液體壓力計的型式已有多種。

【液體檢波器】(Liquid detector)

一種極細鉑絲作正極，鉛作負極，各浸入玻璃缸酸液中，可充作接收電訊用之電液檢波器。

【液體黏度之測定】(Determination of liquid viscosity)

欲測定液體之黏度，一般均採用下列二法：

1. 毛細管法。
2. 落體黏度計法。

【淺水波】(Low water wave)

當平衡時水深比波長諧和波小，此波稱爲淺水波或潮水波。每個水滴經移動沿波而前進，波之前進速度 v 與波長無關而取決於水深，其速度爲

$$v^2 = gh$$

其中 g 爲重力加速度，h 爲平衡時之水深。

故諧和潮水波，在水深 $h=3$ 呎時，以速度

$$v=\sqrt{32\cdot 3} \approx 10\text{呎／秒}$$

進行。

【混合張量】(Mixed tensor)

在變換規則中若有反變及協變混合出現，則該張量爲混合張量，例如下式爲二階混合張量的變換規則

$$\bar{A}^{i}_{j} = \frac{\partial \bar{x}^{i}}{\partial x^{r}} \frac{\partial x^{s}}{\partial \bar{x}^{j}} A^{r}_{s}$$

【混合熱中子反應器】(Mixed thermal neutron reactor)

在這種反應器的核心中可分裂物質被包在耐高溫物質中，而有良好的熱傳導，並且與中子緩速劑分開，緩速劑能另外冷卻，因此可以維持較低的溫度。混合熱中子反應器包含了一個複雜的冷卻系統，其中較低溫度的緩速劑必須與高溫物質隔絕。

【混合器】(Mixer)

以幾個傳聲器進行發送時，所須用的一組響度調節器稱爲混合器。

【混頻管】(Mixer tube)

又稱第一檢波器，用於超外差接收機之變頻級中。

【淨彈】(Clean bomb)

是指產生相當少量之放射落塵的核子彈。熔合彈屬於淨彈。

【淨驅動力】(Net driving force)

重力 (*gravity*) 與電力 (*electric force*)的合力稱爲淨驅動力。

【焊接】(Welding)

造船與製鍋，以前都用鉚接之方法，現在則漸爲焊接方法所取代。因爲後者既廉且速，何況又無前者工作時之刺耳，而所得產品之強度，則又超過之。焊接之原理乃是利用比欲接合之金屬的熔點低，並易與金屬熔接的材料接合。一般的合金，其全成分皆成爲液態的最低溫度 (熔融溫度) 與全成分皆凝固的溫度 (凝固點) 不相同。焊接時將加熱到此熔融溫度，而在此溫度與凝固點中間的溫度範圍內進行成形或其他作業

。因此由這些溫度值或兩溫度差寬的不同，其使用方法或適用範圍則有不同，由熔融溫度可把焊接分爲軟焊接(200℃左右)與硬焊接(600℃以上)。

焊接有種種方法，最普遍的方法有：

1. 氣焊法——即氧乙炔焊接(*oxygen-acetylene welding*)法。氧自氧筒中以高壓竄入氧炔吹管，而當其從管中噴射器噴出時，壓力降低以換取高速形成抽吸作用(*aspiration*)。於是乙炔氣源源而至相與混合，繼即化合形成燃燒，其溫度竟達3,100℃至3,300℃之高。焊條受熱熔化，滴在其已瀕於熔化之焊口，則完成焊接。

2. 電焊法——其爲電弧焊(*electric arc welding*)法之簡稱。首將焊條接觸工件，使電路全通；繼使其逐漸離開，以造成電弧(*electric arc*)。其溫度高至3,500℃與4,000℃之間，遠在鋼熔點之上，致令焊條與焊口均遭熔解。故若焊條滴入焊口則起熔合作用，形成拼造產品。

3. 閃焊法——不用焊條而逕將準備焊接之雙方，始而接觸繼而脫離以造成電弧，雙方邊緣因而受熱。及至熔解之際即予停電，並速將雙方邊緣相互靠攏，且加壓擠以使熔合成爲拼合體。電冰箱之外殼即爲此法所造成。

4. 點焊法——亦稱電阻焊(*resistance welding*)。此法一如閃焊，可用以焊接金屬薄片之零件，使成爲一拼造體。其工作原理爲當強電通過兩焊接頂端間所緊夾之焊接雙方時，電阻導致高熱，致使兩頂端間之雙方金屬熱至熔解；隨因兩頂端所加壓力，熔合成爲一體。點焊已在飛機製造上、鋁之焊接方面取代鉚接工作。此蓋由於其工作速度較快之故。

【焓】(**Enthalpy**)

焓爲熱力學上之一變數，定義爲

$$H = U + PV$$

式中U是系統的內能，P及V分別表示系統的壓力及體積。

當系統從最初的平衡狀態經過可逆過程而達最終的平衡狀態時，系統的焓H具有下列的性質：

1. 焓的微分量爲

$$dH = đQ + V\,dP$$

式中微分符號d上加一橫線代表極小量變化的過程，故流體的定壓比熱爲

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

由此可得焓在等壓過程中（$dP = 0$）的始態i與終態f間之變化量爲

$$\Delta H = Q = \int_i^f C_p\,dT$$

式中Q爲吸收的總熱量。在絕熱過程中（$đQ = 0$），焓的變化量爲

$$H_f - H_i = \int_i^f V\,dP$$

2. 在節流過程（*throttling process*）中

$$H_i = H_f$$

3. 在理想氣體的情形

$$H = (C_v + Nk)\,T$$

因此

$$C_p = C_v + Nk$$

【牽牛星】（Aquila）

較天琴（*Lyre*）、天鵝（*Cygnus*）二星座更南，和織女（*Vega*）、天津四鼎足而立的，有一顆一等星，在它的兩旁各有一顆較暗的星，這顆星就是中國古代所稱的牽牛星，又叫做河鼓二（西名*Altair*）或叫天鷹座（拉丁*Aquila*）。

參閱"天琴星座（*Lyre*）"條。

【球貝色函數】（Spherical Bessel function）

原子核殼層模型（*shell model of nucleus*）以假設原子核爲球形

爲出發點，並設在中心處對一核子的平均作用力爲0，亦即在 $r=0$ 處位函數 $V(r)$ 應爲平坦形狀。大致可認爲 $V(r)$ 的函數關係與密度函數 $\rho(r)$ 十分相似，在核之內部 V 近乎不變，在邊界區域逐漸減少至0。爲簡化計，設位能函數爲球形對稱（ *spherical symmetry* ）的無限深方井狀。在井中位能爲0，井外爲無限大，以 $r=r_0$ 爲界限。一個核子在這種位能函數下的波函數可被寫爲：

$$\Psi = R_l(r)\,Y_{l,m}\,(\theta,\ \varphi)$$

徑向波函數 $R_l(r)$ 是下述常微分方程式的解：

$$\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dR_l}{dr}\right)+\frac{2m}{\hbar^2}\left[E-\frac{l(l+1)\hbar^2}{2mr^2}\right]R_l=0 \quad (1)$$

l 表各核子的軌道角動量的量子數。(1)式的解並不簡單，由於歸一條件（ *normalization condition* ），在任何 r 值，波函數必須有限值，滿足此種要求的解是球貝色函數：

$$R_l(r)=j_l(kr)=\left(-\frac{r}{k}\right)^l\left(\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\right)^l\left(\frac{\sin kr}{kr}\right)$$

式中
$$k=\frac{1}{\hbar}\sqrt{2mE} \quad (2)$$

球貝色函數中，l 最低的三種（ $l=0,1,2$ ）的函數圖形，如圖11—115所示。

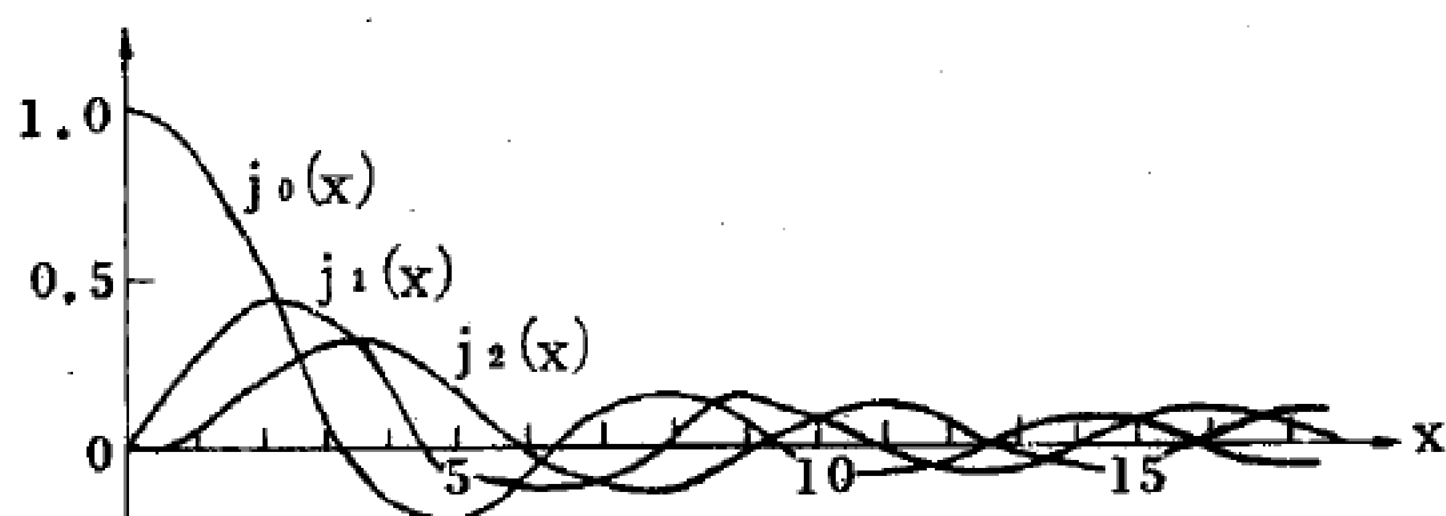


圖 11 — 115

不論 θ 和 φ 爲任何值，波函數在 $r=r_0$ 處應爲0，故每一 l 值有一組 $kr_0=\eta$ 值，爲波函數的節點所在，η 爲圖11—115中 $j_l(x)$ 爲0時 x 之值。這樣，就得到一組被允許的 k 值。再由(2)式就可以得到相當於不同的 k 值的一組能階：

$$E=\frac{\hbar^2 k^2}{2m}=\frac{\hbar^2 \eta^2}{2mr_0^2}$$

軌道角動量 $l=0，1，2$ 等分別以 s ，p ，d 等狀態表之，與原子能階的表示法相同。每一量子數 l 再以1，2，3 等標示，以 η 值的大小爲序。例如 p 態依次分爲 $1p$，$2p$，$3p$ 等。

【球形凸輪】(Spherical convex wheel)

用刻有溝的球體作成凸輪，當凸輪軸旋轉時，夾在溝中的棒腳也隨之轉動，棒即成爲左右交互的旋轉運動。如圖 11－116 所示。

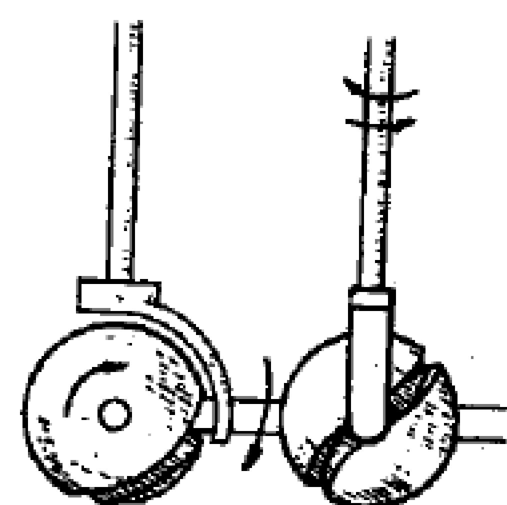


圖 11－116

【球形實物放映機】(Spherical real object projector)

午布力西 (*Ulbricht*) 整球形原理已應用於不透明物標之放映問題中，圖 11－117 可說明此原理。一球體 S 其內表面塗敷一層高反射性白色塗料，再安裝一高鏡徑放映透鏡 P 在球之頂部，而在底部有一開口以裝入不透明物標 O ，燈泡在 L 位置，物標被原來球體內表面反射的光線所照明，而燈泡之光線亦可直接照明之。理論上所有由燈泡輻射出之光線均應進入透鏡，但實際光線亦因白色表面之吸收而損失，而透鏡表面以及燈泡亦均反射一小部分，但此儀器仍有滿意的結果。

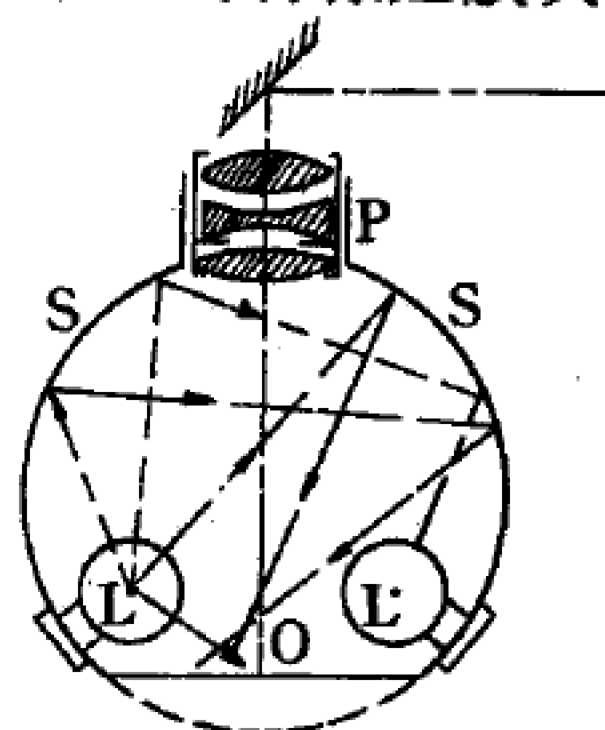


圖 11－117
球形實物放映機

【球狀陀螺分子】(Spherical top molecules)

三主慣性矩均相等的分子稱爲球狀陀螺分子。

【球面坐標】(Spherical coordinate)

如圖 11－118 在球面坐標內，一點的位置 (位置向量) 是以原點到 P 的距離 $OP=r$ 和描述 $\overline{OP}$ 方向與指向的兩個角度 θ 和 φ 來表明的 (

θ 是 $\overline{OP}$和第三軸的交角，φ 是經過$\overline{OP}$與第三軸的平面和第一軸的交角.）。在圖 11—118 內，r, θ, φ 和 x_1, x_2, x_3 之間的關係表示得很清楚（$0 \leqq \theta \leqq \pi$，$0 \leqq \varphi \leqq 2\pi$，$0 \leqq r$）。

$$x_1 = r \sin\theta \cos\varphi$$
$$x_2 = r \sin\theta \sin\varphi$$
$$x_3 = r \cos\theta$$

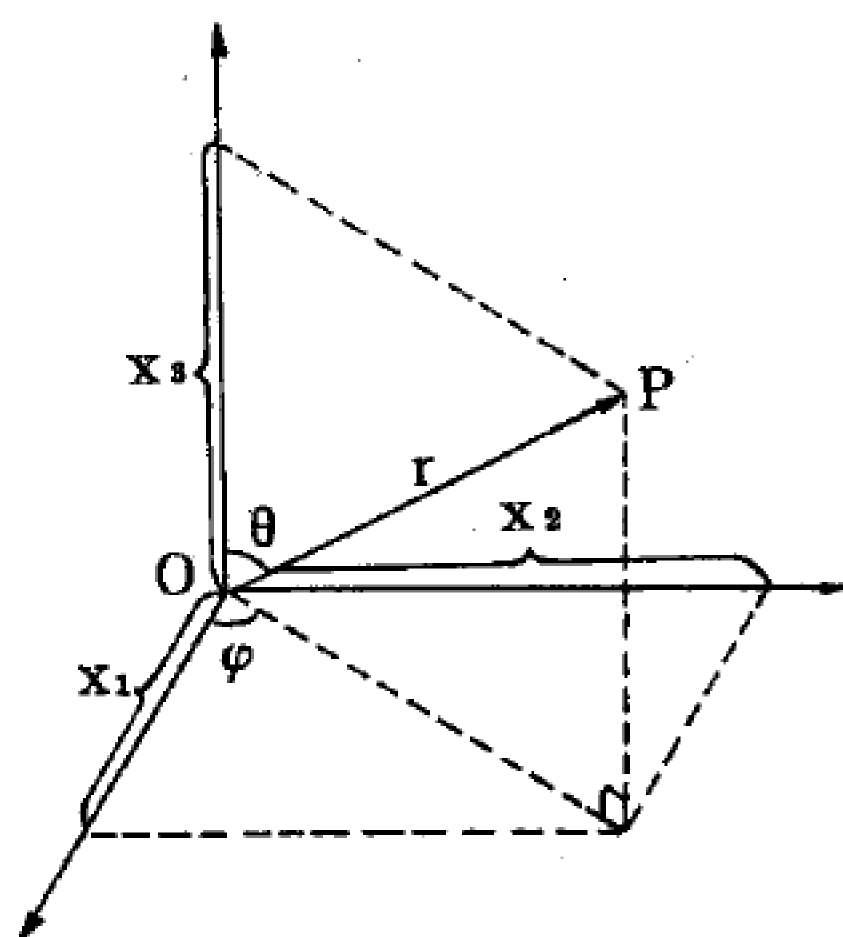
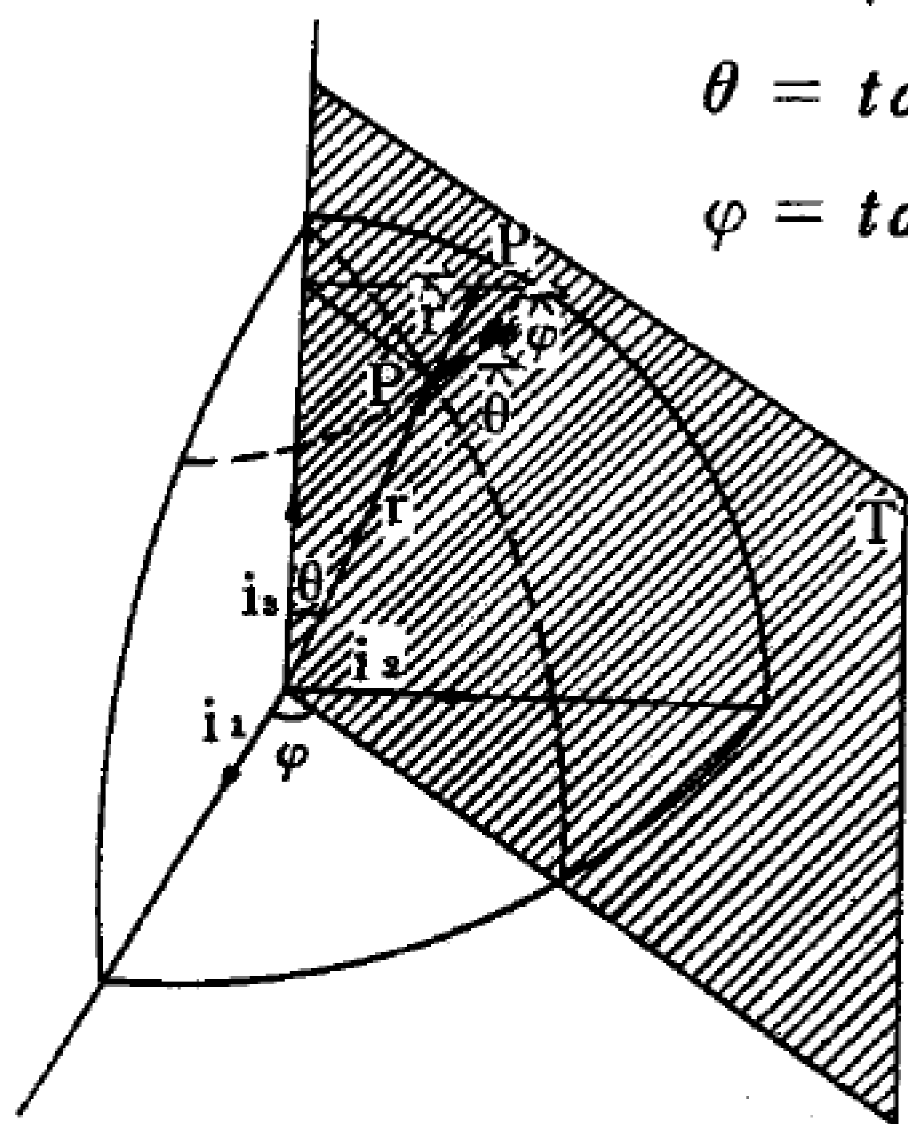


圖 11 — 118
球面坐標的坐標變數

反過來就是：

$$r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left[\sqrt{x_1^2 + x_2^2} / x_3\right]$$
$$\varphi = \tan^{-1}\left[\frac{x_2}{x_1}\right]$$



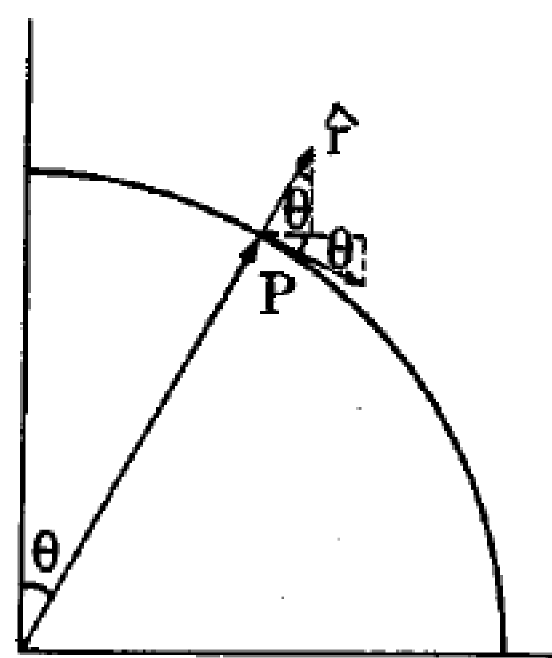


圖 11 — 119 球面坐標的基向量

圖 11 — 119 指示出在球面坐標中三個基向量 $\vec{\hat{r}}$, $\vec{\hat{\theta}}$, $\vec{\hat{\varphi}}$ 和原來的 $\vec{i}_1$, $\vec{i}_2$, $\vec{i}_3$ 的關係，$\vec{r}$, $\vec{\hat{\theta}}$, $\vec{\hat{\varphi}}$ 的方向分別是 $\vec{r}$, $\vec{\theta}$, $\vec{\varphi}$ 增加的方向：

$$\vec{\hat{r}} = \vec{i}_1 \sin\theta\cos\varphi + \vec{i}_2 \sin\theta\sin\varphi + \vec{i}_3 \cos\theta$$
$$\vec{\hat{\theta}} = \vec{i}_1 \cos\theta\cos\varphi + \vec{i}_2 \cos\theta\sin\varphi - \vec{i}_3 \sin\theta$$
$$\vec{\hat{\varphi}} = -\vec{i}_1 \sin\varphi + \vec{i}_2 \cos\varphi$$

在球面坐標內

$$\nabla = \vec{\hat{r}} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r} \vec{\hat{\theta}} \frac{\partial}{\partial \theta} + \frac{1}{r\sin\theta} \vec{\hat{\varphi}} \frac{\partial}{\partial \varphi}$$

如果$F(x)$是一個純量函數，而$A(x)$是一個向量函數，則

$$div A(x)=\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2A_r)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(\sin\theta A_\theta)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\varphi}A_\varphi$$

$$curl\,\vec{A}(x)=\vec{\hat{r}}\frac{1}{r\sin\theta}\left[\frac{\partial}{\partial\theta}(\sin\theta A_\varphi)-\frac{\partial A_\theta}{\partial\varphi}\right]$$

$$+\vec{\hat{\theta}}\frac{1}{r}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial A_r}{\partial\varphi}-\frac{\partial}{\partial r}(rA_\varphi)\right]$$

$$+\vec{\hat{\varphi}}\frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\theta)-\frac{\partial A_r}{\partial\theta}\right]$$

$$\nabla^2\vec{F}(x)=\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2\frac{\partial}{\partial r}\vec{F}(x)+\frac{1}{r^2}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\vec{F}(x)$$

$$+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial}{\partial\varphi}\vec{F}(x)$$

$$\nabla^2\vec{A}(x)=\vec{\hat{r}}\left[\nabla^2A_r-\frac{2}{r^2}A_r-\frac{2}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(\sin\theta A_\theta)\right.$$

$$\left.-\frac{2}{r^2\sin\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi}\right]+\vec{\hat{\theta}}\left[\nabla^2A_\theta-\frac{A_\theta}{r^2\sin^2\theta}+\frac{2}{r^2}\frac{\partial A_r}{\partial\theta}\right.$$

$$\left.-\frac{2\cos\theta}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi}\right]+\vec{\hat{\varphi}}\left[\nabla^2A_\varphi-\frac{A_\varphi}{r^2\sin^2\theta}\right.$$

$$\left.+\frac{2}{r^2\sin\theta}\frac{\partial A_r}{\partial\varphi}+\frac{2\cos\theta}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial A_\theta}{\partial\varphi}\right]$$

【球面波】(Spherical wave)

如果在某一點發生的擾動以同樣的速度朝各方向傳播的話（即各介質是各向同性的）就產生球面波，其波前是與擾動發生處那點同心的各個球。

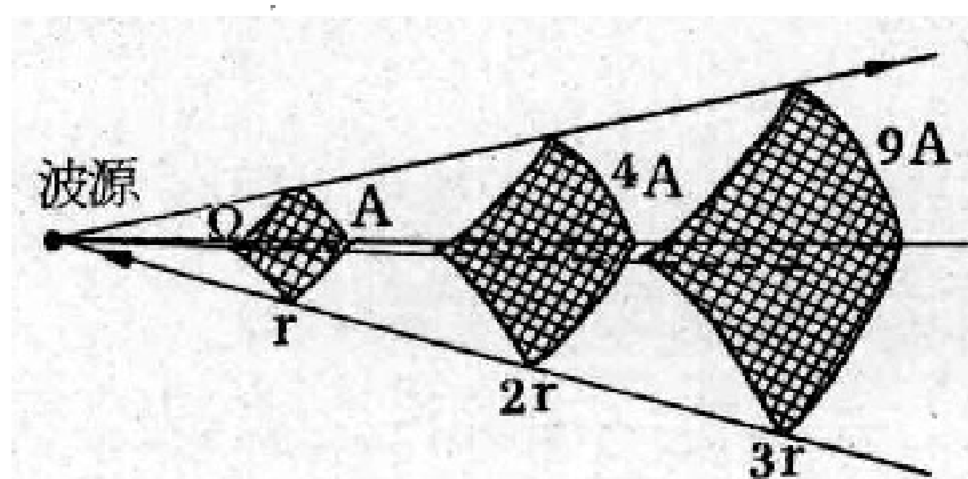


圖 11 — 120

球面波的例子爲在均勻且等向性之流體中之壓力波。假如 r 爲從波源

算起之距離而 p_0 爲垂直壓力時，球面壓力波似乎可以書爲 $p-p_0=f(r-vt)$，因爲現在 r 擔任了平面波中 x 之角色；然而事實並非如此。

當球面波傳播時，波面愈來愈大（隨 r^2 增大）；玆以在面立體角 Ω（圖 11—120）內所傳播之波爲例，與波源距離爲 r 之處的波面積爲 A，距離 $2r$，$3r$，……nr 處之波面面積各爲 $4A$，$9A$……及 n^2A；這必使壓力波之振幅隨其與波源之距離而減小，這是由實驗所得以及由更精密的理論分析所得的一項結果（分析過程在此省略）；例如，如果流體爲等向性的，波在各方向有相同的振幅，則壓力波可以表示爲

$$p-p_0=\frac{1}{r}f(r-vt)$$

式中 p_0 爲平衡狀態之壓力，現在有一個不在平面波中出現的幾何因子 $1/r$，這表示壓力隨其與波源之距離而減小。

傳播速度與在流體中之平面波所得之式之表示法相同，即

$$v=\sqrt{\frac{k}{\rho_0}}$$

一種特別有趣之情況爲以

$$p-p_0=P_0/r\sin(kr-\omega t)$$

表示之球面諧和壓力波，壓力波之振幅爲 P_0/r，與其離開波源之距離成反比而減小。對應於此壓力波之位移要用較爲複雜之形式來表示，可是當距離波源很遠時，其位移可以表示爲

$$\xi=\frac{\xi_0}{r}\cos(kr-\omega t) \qquad (1)$$

式中 $\xi_0=P_0/v\rho_0\omega$，由 ξ_0/r 表示之位移波之振幅也是與其離開波源之距離成反比而減小。

玆假定一球面波之波源以不變之平均速率 $(dE/dt)_{ave}$ 輻射能量，當波傳播時輻射能量散佈於一個很大的表面上，結果當離開波源之

距離增大時，波動之強度減弱。茲以波源爲中心以 r 爲半徑之球面，若能量不被介質吸收，則單位時間內通過此球面之平均能量亦爲 $(dE/dt)_{ave}$；根據式 $(\frac{dE}{dt}) = IA$，波在距離爲 r 處之強度與表面積 $A = 4\pi r^2$ 之關係表爲：

$$(\frac{dE}{dt})_{ave} = IA = I(4\pi r^2) = \text{常數}$$

因此 I = 常數／r^2；若以 I_0 表示該常數，最後求得距離波源 r 處球面波之強度爲

$$I = \frac{I_0}{r^2} \qquad (2)$$

於是得一結論爲球面波之強度與其至波源距離之平方成反比減弱。此一結果常應用於聲學與光學之中。因爲波之強度與其振幅之平方成正比，故結論爲(2)式必使球面波之振幅與 r 成反比，如前面(1)式所示。

【球面像差】(Spherical aberration)

又稱球面收差或球形差。遠鏡內像之模糊，係因透鏡或鏡之中心及邊緣不能使光聚集於同一焦點上所致。光線經由透鏡近邊緣處折向焦點較由透鏡中心附近所折向者近，故兩者不能會聚於一點，於是造成像差，此缺點乃是由於鏡面爲球面之故。透鏡之厚度常與其直徑成比例，故較厚之透鏡所成之球面像差亦較大。欲修正此項缺點，可選擇特殊之表面曲率。在折光遠鏡方面，其修正係從鏡中央部分之深度著手，亦即使其呈拋物線型。

凹鏡(*concave mirror*)反射之光線未能聚集於一點，係因鏡面之角度甚大，故反射光集於多點而非一點，這些聚會點圍成一曲面即焦散面(*caustic surface*)，此因愈近鏡心之光線被反射至距鏡較遠處聚集，離鏡心愈遠則聚集距鏡愈近。產生球面像差的另一成因爲波長不同的多色光同時入射，補救的方法，可以於凹鏡前置一不透明之薄片，片中央開一圓孔使入射光由此孔入射，但其缺點會造成焦點光度不足

。由凹面鏡造成之球面像差稱爲凹鏡球面像差；由透鏡之折射而成之球面像差則稱爲透鏡球面像差。

球面像差是由透鏡的幾何形狀造成的像差，所以又被歸屬於幾何像差（ *geometry aberration* ），這是一種最普通的缺點。這一類像差中還有玻璃凸透鏡上的彗形像差（ *comatic aberration* ）及磁透鏡的磁場彎曲率（ *curvature of field*)與失眞等等。

電子顯微鏡的球面像差爲一最重要的缺點，其爲限制解像能力的主要缺點，只可以加以限制，而沒有辦法免除。也是對物透鏡的唯一幾何學上的缺點。

【球面鏡】（ Spherical mirror ）

反射的鏡面若爲球面的一部分稱爲球面鏡。如圖 11 — 121 ，設鏡的反射面向球心 C 彎曲的稱爲凹鏡；若用球面的外面做反射面，就成凸鏡，通過球心 C 和鏡面中點 O 的直線稱爲軸線。

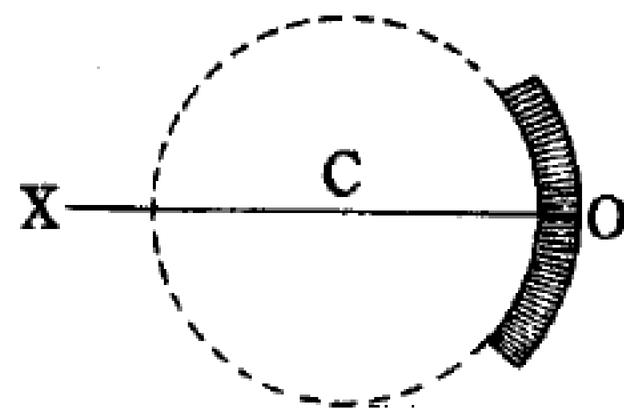


圖 11 — 121
球面的一部分

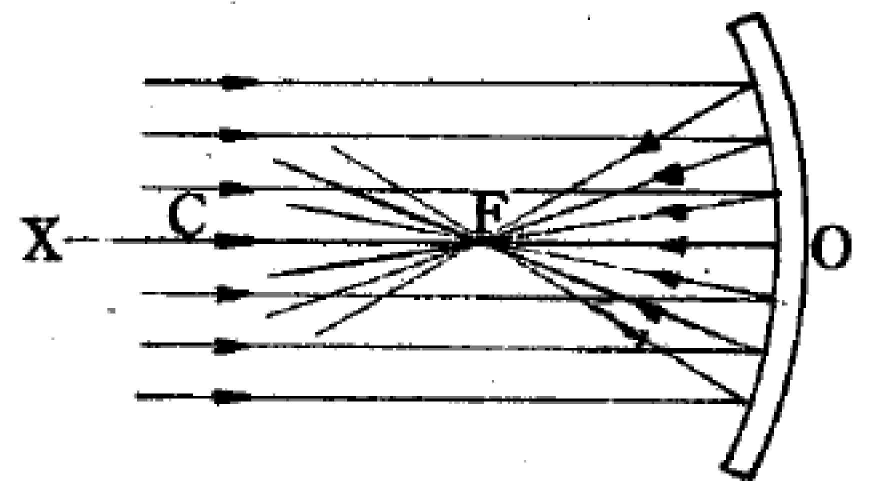
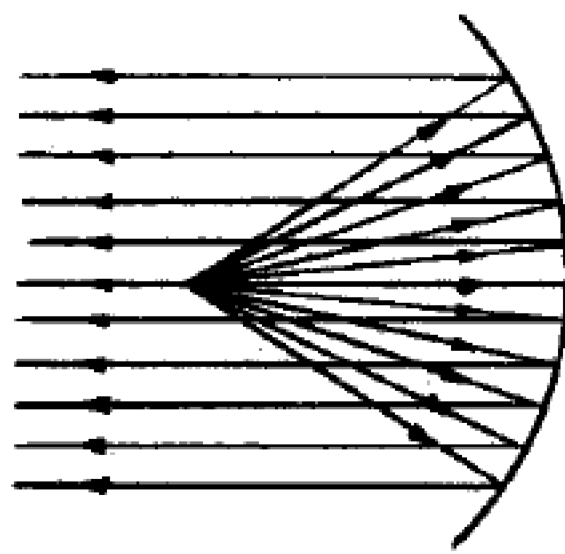


圖 11 — 122
凹鏡的焦點

依凹鏡的軸線方向，對著太陽光，則因光源離鏡極遠，故發出的光線可視作平行，這平行光線依軸線方向射於鏡面，經反射後都會集於軸線上的 F 點（圖 11 — 122 ），如在 F 點上置一紙片就見太陽的像。若將容易著火的物質放在這點就起燃燒，故這點稱爲焦點（ *focus* ）。焦點和鏡面的距離 OF 稱爲焦距（ *focal length*)。焦距恰爲球面半徑 OC 的一半。若將光線放在凹鏡的焦點上，經反射後的光線就成平行光線，照度不變以達遠處，如圖 11 — 123 所示。探照燈就是利用此理造成。平行光線遇凸鏡，反射後的光線雖發散，但將反射線延長到鏡後，亦可會集於 F 點（圖 11 — 124 ），稱爲虛焦點(*virtual focus*)。

在主軸上距頂點爲 p（物距）的物體，經鏡面反射後在主軸上所成的像距頂點爲 q（像），則凹鏡或凸鏡的成像位置之計算公式爲


圖 11－123　凹鏡

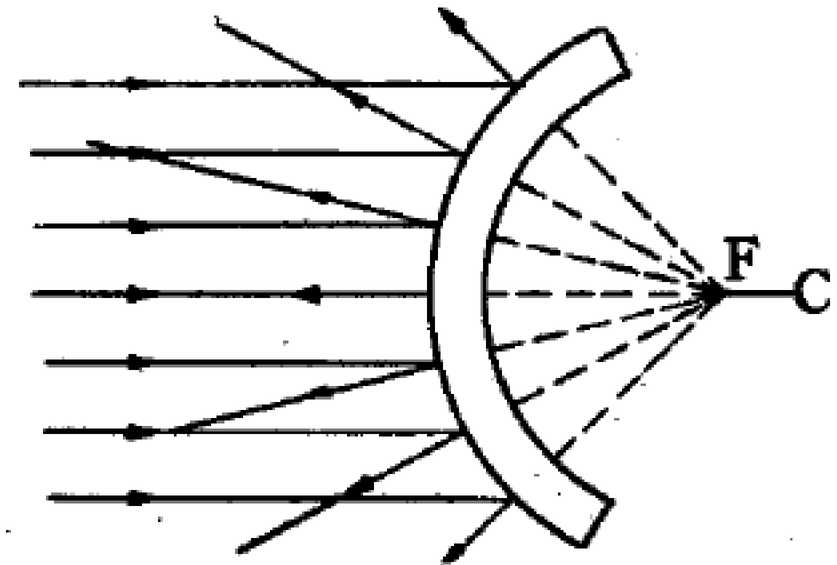


圖 11－124　凸鏡的虛焦點

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}$$

式中 $f=\frac{r}{2}$，r 爲球面半徑，f 爲焦距。當平行於主軸的光線射至凹鏡時，反射後會聚於焦點；但射至凸鏡時，反射後宛似自焦點發出而發散。

【球徑計】（Spherometer）

一般透鏡之球表面半徑之長爲2吋到 12 吋。欲測在此範圍內之球面半徑常使用球徑計。此儀器之基本原則見圖 11－125，圖中 BDA 爲球表面（其半徑 $OA=r$）置在一環上其直徑爲 BA（即其半徑 $CA=c$）。

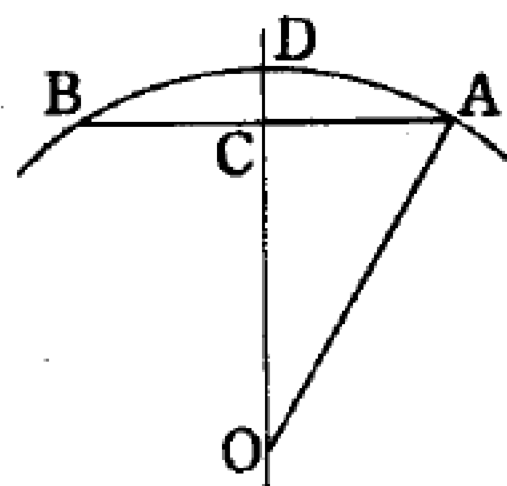


圖 11－125

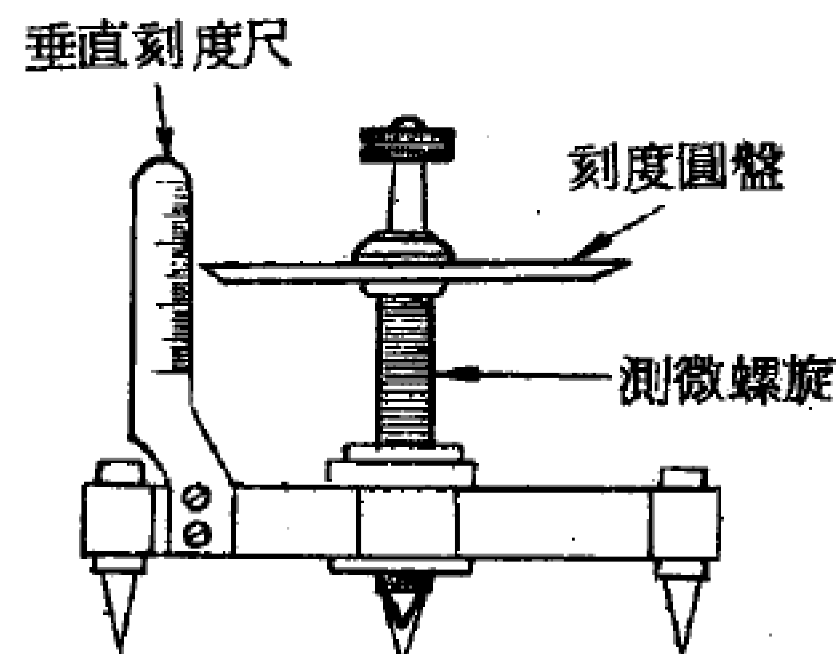


圖 11－126
三足型球徑計

距離 $CD=h$ 通常可用一測微螺旋（*micrometer screw*）測定之，得如下之關係式：

$$r=\frac{c^2+h^2}{2h}$$

球徑計之種類甚多，由圖 11－126 至圖 11－130 均屬之，然就理論之觀點言均有其缺點，而以讀數精確及耐用堅實觀點論之則甚優良

，其仍保留使用測微螺旋以測定 CD，而以一平行側面硬圓柱安置在有曲線的表面上。"環狀"型球徑計之優於"三足"型或"鋼球"型者，即因其測微螺旋能十分精確的安置在球徑計圓周AB之中心位置。又若硬鋼環之裏外邊緣應耐用，敏銳的邊緣可以磨去環之頂部而保持不變。測微螺旋之末端如何精確接觸被測的表

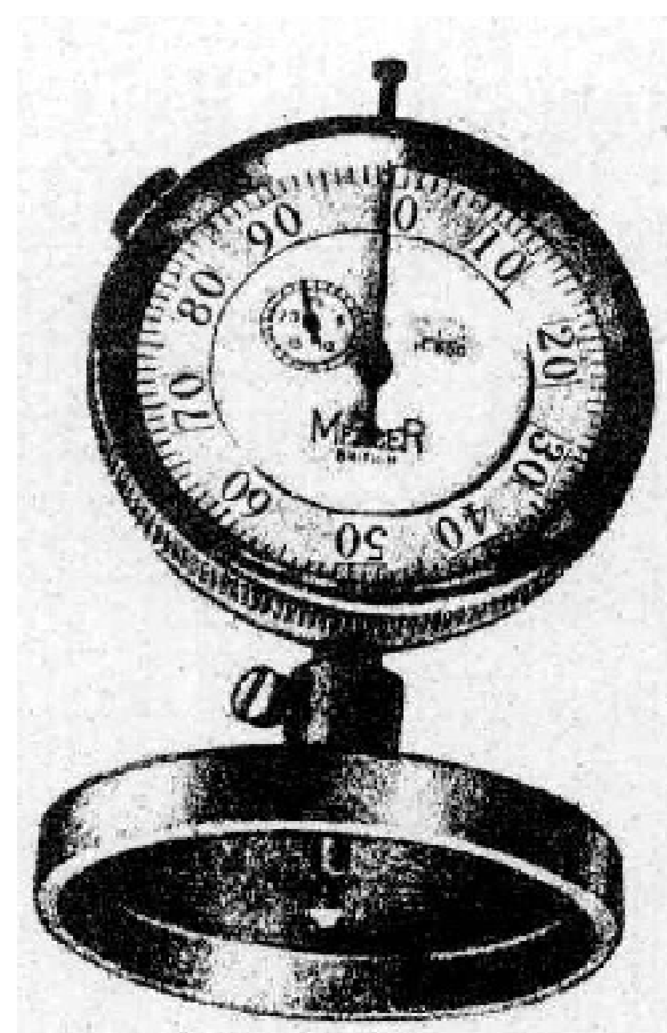
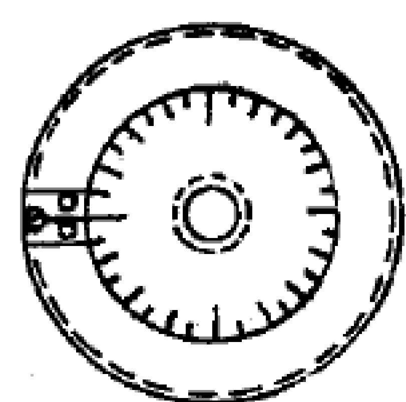


圖 11 — 127　盤表型



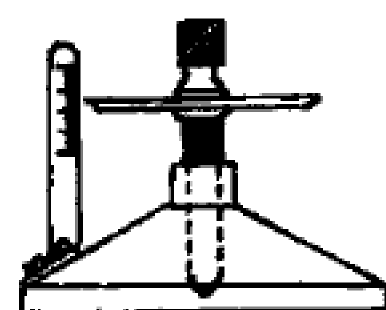


圖 11 — 128　環型

面，可以使用如圖 11 — 131之儀器完成之，接觸點乃用一低倍數顯微鏡觀察之。如圖 11 — 131(a)，顯示一鋼點或鋼球，及其在欲測表面上的反射物像，調節測微螺旋至二物像恰能接觸爲止，此乃一特別靈敏的裝置。此外，用顯微鏡以垂直照明器適當安置在該表面前方，則在其表面與所觀察之透鏡的表面間造成牛頓環系統，此法應歸功於基爾特(*Guild*)。

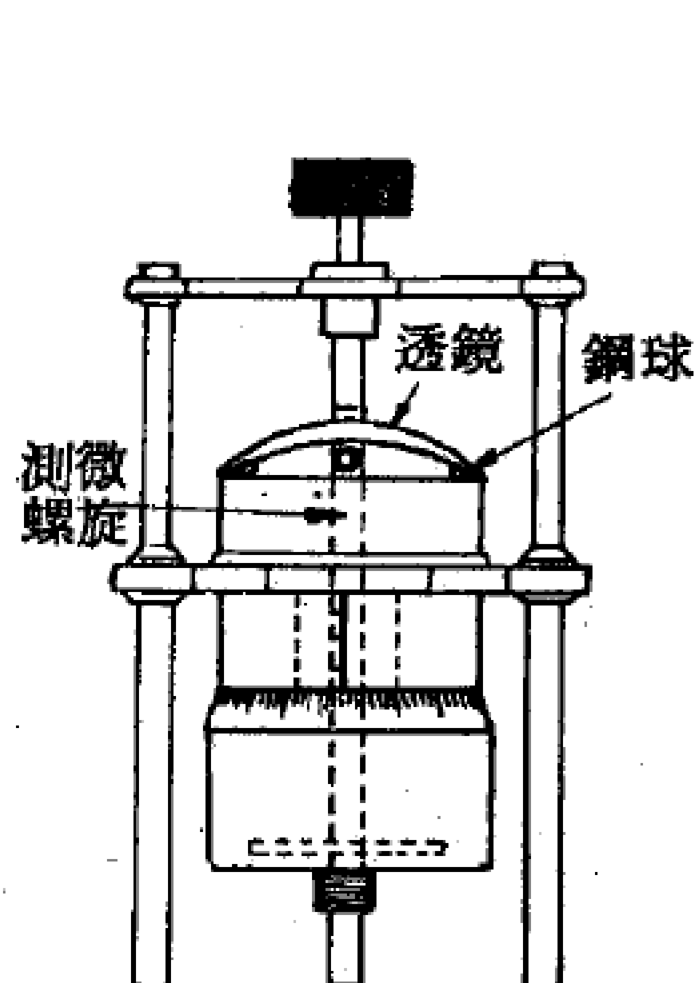


圖 11 — 129
阿爾帝斯(Aldis)型

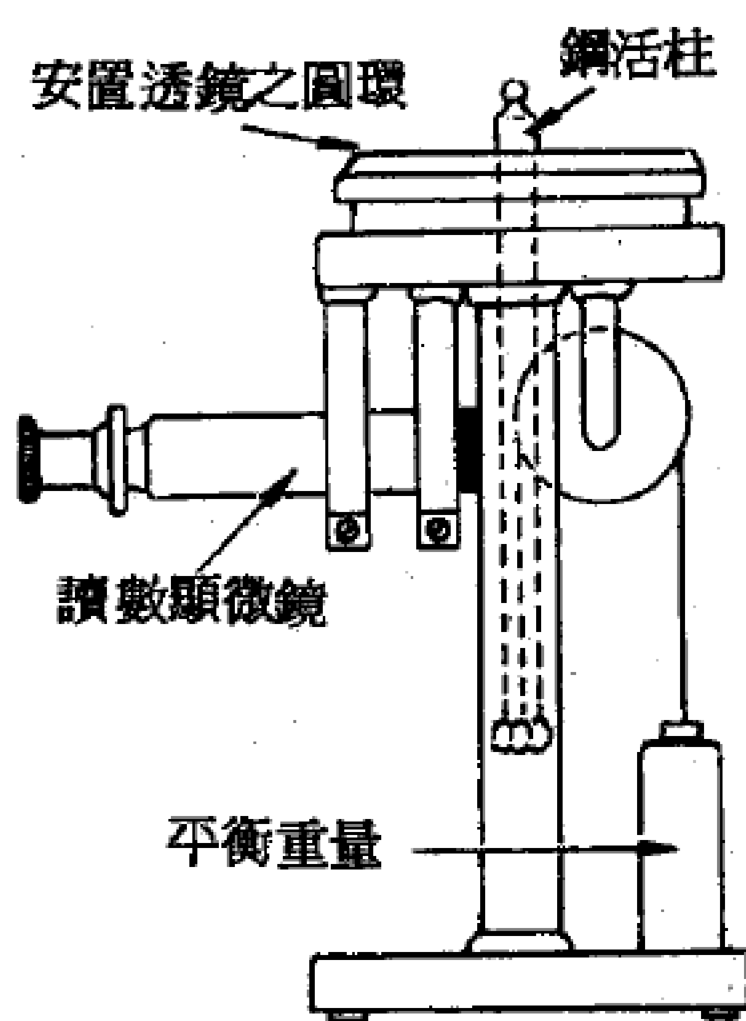
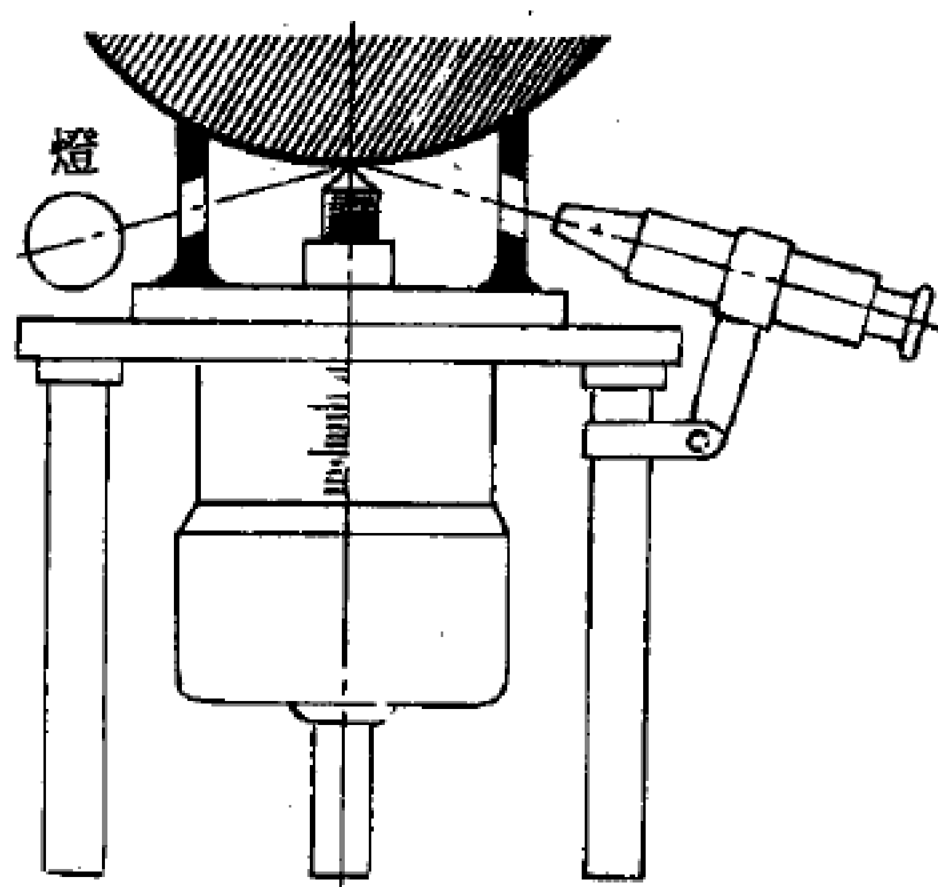


圖 11 — 130
阿爾帝斯(Aldis)型

【球軸承】(Ball bearing)

物體在轉動時所生的摩擦較小，如車輪在地面上轉動，就是滾動摩擦。因滾動摩擦很小，故多數軸承都在軸的周圍裝有小球，使軸棒轉動

爲滾動摩擦，如圖11—132所示。這種裝置稱爲球軸承。



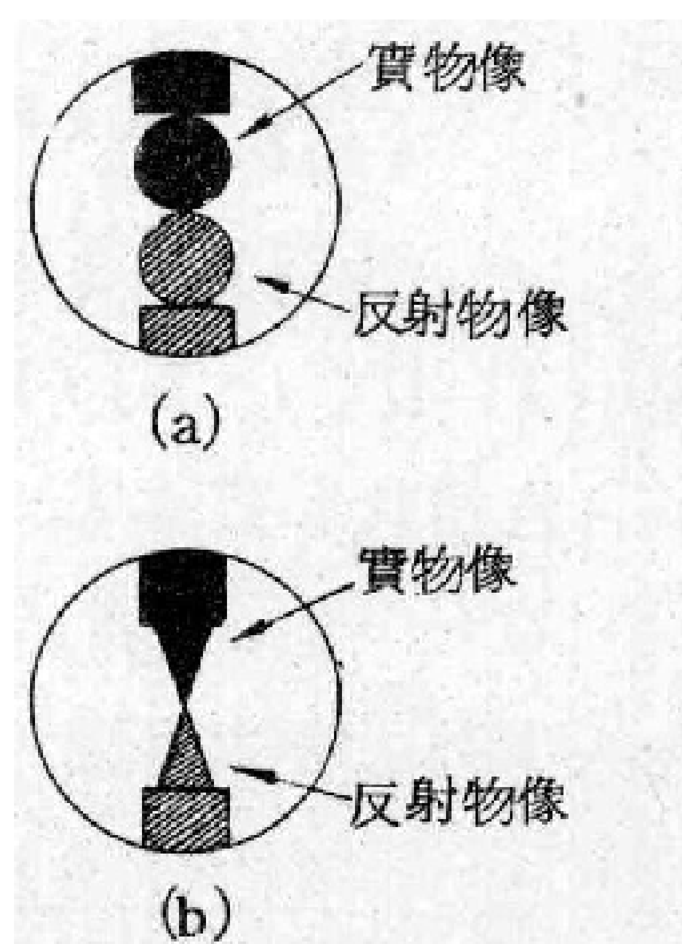


圖 11 — 131　測定測微螺旋及欲測表面間接觸情形之方法

【球隕石】(Ball meteorite)

石質的隕石稱爲球隕石。它的成分與地殼的岩層相似，它的來源是被分裂的天體外部的破片。

【球對稱】(Spherical symmetry)

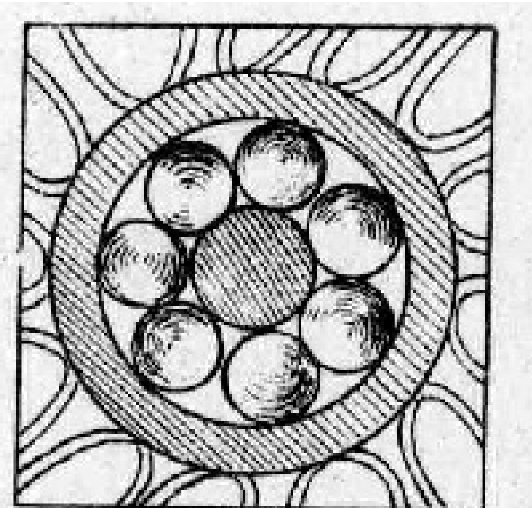


圖 11 — 132
正面球軸承

在古典力學中可知有心力場的問題，其運動爲平面運動且角動量守恆。此問題在量子力學中，由薛丁格方程式可知與角度 θ ，ϕ (球坐標的二量) 無關，而成爲球對稱的情形，此時波函數的 θ ，ϕ 函數部分爲球諧函數。這在力學上 (古典或量子) 對應於角動量守恆，由於角動量守恆，可知這種對稱爲三維空間的轉動對稱，稱之爲 $SU(3)$ 三維空間轉動對稱群。

球對稱爲三維空間問題中最常見者，在複雜的實際物理問題中，仍然以球對稱爲其第一近似爲手段者最爲普遍。

【球諧函數】(Spherical harmonics)

當解三維空間有球對稱位函數的薛丁格波動方程式時，可將波函數分爲徑向部分和角部分，即

$$U(r,\theta,\phi)=R(r)Y(\theta,\phi)$$

由於球對稱的關係，$Y(\theta,\phi)$ 部分適合方程式

$$-\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right]Y_{lm}(\theta,\phi)$$
$$=\lambda Y_{lm}(\theta,\phi)$$

式中$\lambda=l(l+1)$，$Y_{lm}(\theta,\phi)$稱之為球諧函數。

若將其形式寫成

$$Y_{lm}(\theta,\phi)=N_{lm}\,\Theta(\theta)\Phi(\phi)$$

代入上列方程式可得

$$\frac{d^2\Phi(\phi)}{d\phi^2}+m^2\Phi(\phi)=0$$

$$\frac{1}{\sin\theta}\frac{d}{d\theta}\left(\sin\theta\frac{d}{d\theta}\right)\Theta(\theta)+\left[l(l+1)-\frac{m^2}{\sin^2\theta}\right]\Theta(\theta)=0$$

由此方程式可知其解為

$$\Phi(\theta)=e^{im\phi}$$
$$\Theta(\theta)=P_l^m(\cos\theta)$$

$P_l^m(\cos\theta)$是伴勒壤得多項式。係數N_{lm}為歸一常數，所以球諧函數的形式為

$$Y_{lm}(\theta,\phi)=(-1)^m\left[\frac{(2l+1)}{4\pi}\cdot\frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}\right]^{\frac{1}{2}}$$
$$P_l^m(\cos\theta)\,e^{im\phi}\quad(m\geqq0)$$

其正交歸一條件是

$$\int Y_{lm}^*(\theta,\phi)Y_{lm}(\theta,\phi)\,d\Omega=\delta_{mm'}\delta_{ll'}$$

$$\sum_{l=0}^{\infty}\sum_{m=-l}^{+l}Y_{lm}^*(\theta,\phi)Y_{lm}(\theta',\phi')=\delta(\Omega-\Omega')$$

式中Ω為立體角　　$d\Omega=d\phi\sin\theta\,d\theta$

常常應用的關係式如下：

$$Y_{l0}(\theta,\phi)=\sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}}\ P_l(\cos\theta)$$

$$Y_{ll}(\theta,\phi)=(-1)^l\left[\frac{(2l+1)}{4\pi}\ \frac{(2l)!}{2^{2l}(l!)^2}\right]^{\frac{1}{2}}\sin^l\theta e^{il\phi}$$

$$Y_{l\bar{m}}(\theta,\phi)=(-1)^m Y_{lm}(\theta,\phi)$$

$$Y_{00}=\sqrt{\frac{1}{4\pi}}\ ,\ Y_{10}=\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{\frac{1}{2}}\cos\theta$$

$$Y_{1\pm1}=\mp\left(\frac{3}{8\pi}\right)^{\frac{1}{2}}\sin\theta e^{\pm i\phi}\ ,\ Y_{20}=\left(\frac{5}{16\pi}\right)^{\frac{1}{2}}(3\cos^2\theta-1)$$

$$Y_{2\pm1}=\mp\left(\frac{15}{8\pi}\right)^{\frac{1}{2}}\sin\theta\cos\theta e^{\pm i\phi}$$

【球諧函數之相加定理】(Addition theorem of spherical harmonics)

設空間二向量 x 及 x'，其坐標各爲 (r,θ,ϕ) 及 (r',θ',ϕ')，夾角爲 γ，則球諧函數的相加定理爲

$$P_l(\cos\gamma)=\frac{4\pi}{2l+1}\sum_{m=-l}^{l}Y^*_{lm}(\theta',\phi')\,Y_{lm}(\theta,\phi)$$

此式表示二球諧函數其角各爲 (θ,ϕ) 及 (θ',ϕ')，其直接積 $P_l(\cos\gamma)$ 可用上式表示之，角 γ 爲 (θ,ϕ) 及 (θ',ϕ') 的夾角，即

$$\cos\gamma=\cos\theta\cos\theta'+\sin\theta\sin\theta'\cos(\phi-\phi')$$

在物理上此式的應用很廣。在量子力學中，角動量相加時要用到，尤其在多體問題中，如分子及原子構造和原子核中角動量相加所用的 $C-G$ 係數，都要用到上述定理。

【球燃料反應器】(Pebble bed reactor)

反應器之一種，其可裂燃料(有時甚至包括緩速劑)做成包裝的或散置的小球丸，而以氣體或液體冷卻之。

【球騰態】(Spheroidal state)

滴水於已達赤熱之金屬板上，水滴不即沸騰，將作扁球形而在板上滾動以漸次汽化。此乃因與板接觸之水，立即化爲一層蒸汽，此層蒸汽之導熱性不佳，故板之溫度雖高，其熱量仍不易傳至於水，以使之沸騰。然如板之溫度稍減，水滴能與之直接接觸，則必立即沸騰。此現象名爲球騰態。

【理想可塑物質】(Ideal plastic material)

純彈性物質在屈服應力(*yield stress*)之前都有定值的應變，故應變率爲 0。然而當應力(*stress*)超越此限值時，則這種固體即表現可塑性(*plastic*)，仍然會產生定速率的連續應變。換言之，當應力駕越屈服應力時，應力與應變率的關係一如牛頓流體，有線型關係。此物質稱理想可塑物質。

【理想流體】(Perfect liquid)

沒有黏性的流體亦即黏性係數爲零之流體，稱爲理想流體。理想流體流動時，在其中的任何面的應力，始終垂直於該面，且方向相反(互相施壓的方向)。這是爲研究黏性小的眞實流體時的方便所假想的液體，又稱爲完美流體。

【理想氣體】(Ideal gas)

亦稱完全氣體(*perfect gas*)。這種理想化的氣體乃假定氣體的分子與分子間距離相當大(相對於分子的直徑而言)，故分子間彼此的作用小至可以忽略不計。在這種情況下每一分子的行徑都像自由粒子一樣，不因其他粒子的存在而受到影響；僅有絕少的機會使分子間的距離或分子與器壁間的距離極爲接近而產生相互間的作用。

理想氣體遵守下列幾個定律：

1. 波義耳定律(*Boyle's law*)——若 P、V 分別代表氣體的壓力及體積，T 表絕對溫度，m 表氣體的質量，則

$$PV = A(m, T)$$

式中給以一定的 m 及 T 值，可得到一定的 A 值。即一定量的某理想氣體，當溫度保持不變時，氣體的體積與所受的壓力成反比。

2.給呂薩克定律（*Gay-Lussac's law*）

$$V / T = B (m , P)$$

式中給以一定 m 及 P 值，可得一定的常數 B。即在壓力一定時，一定量的氣體其所佔的體積與絕對溫度成正比。

3.亞弗加厥定律（*Avogadro's law*）——在同溫同壓時，同體積的各種氣體，含有同數分子。也可以說所有的氣體一克分子所佔的體積均相同。根據實驗結果，每克分子的氣體約含有 6.02×10^{23} 個分子。

綜合1.、2.、3.可得常用的理想氣體方程式為

$$PV = nRT$$

式中 n 表克分子數，R 表氣體常數，亦稱理想氣體之狀態式。

4.道爾頓定律（*Dalton's law*）——理想氣體方程式原是假設在所討論的系統內僅含有同類分子時而得到的結論。但道爾頓觀察到兩種以上的氣體，若不發生化學反應而在同一容器內互相混合，則容器所呈現的壓力為每種氣體單獨佔有該容器時所呈現壓力的總和，此即所謂分壓定律。

設容器 V 內含有 n_1 克分子的第一種氣體、n_2 克分子的第二種氣體、…，則每種氣體在溫度為 T 時分壓分別為

$$p_1 = \frac{n_1 RT}{V} \quad , \quad p_2 = \frac{n_2 RT}{V} , \cdots$$

根據道爾頓定律，混合氣體的總壓力為

$$P = p_1 + p_2 + \cdots = \sum_i P_i$$

這也可寫成

$$P = \frac{\sum_i n_i RT}{V} = \frac{nRT}{V}$$

式中$n = n_1 + n_2 + \cdots = \sum_i n_i$。

此式乃綜合波義耳、給呂薩克、亞弗加厥及道爾頓四定律而得的結果。故$PV = nRT$式亦適用於有兩種以上的氣體互相混合的情況。實際上真正的氣體只有當壓力趨近於0時，才適用於理想氣體定律。

【理想氣體之狀態式】(Equation of state of ideal gas)

$$PV = nRT$$

n表克分子數，R表氣體常數。此式亦稱爲理想氣體方程式。

【理想氣體之絕熱變化】(Adiabatic change of ideal gas)

當一系統經過一絕熱變化，則式$U - U_0 = -W$成立。若變化爲無限小，則可寫爲 $dU = -dW$

當功是因體積改變而產生，$dW = p\,dV$，則$dU = -p\,dV$。若爲一理想氣體$U = \frac{3}{2}nRT = nC_vT$，因此$dU = nC_v\,dT$，即前式變爲

$$nC_v\,dT + p\,dV = 0$$

由理想氣體之狀態方程式，$pV = nRT$，得

$$p\,dV + V\,dp = nR\,dT$$

聯立最後兩式，消去dT，可寫爲

$$C_vV\,dp + (C_v + R)\,p\,dV = 0$$

或回顧 $$C_P - C_V = R$$

$$C_vV\,dp + C_P\,p\,dV = 0$$

又 $$\gamma = C_P / C_V$$

可得式 $$\frac{dp}{p} + \gamma\frac{dV}{V} = 0$$

積分之 $$\int\frac{dp}{p} + \gamma\int\frac{dV}{V} = 常數$$

或 $$\ln p + \gamma\ln V = 常數$$

此相當於$pV^{\gamma} =$ 常數，表一氣體在一絕熱變化中壓力與體積之關係。

【理想氣體之熱容量】(Thermal capacity of ideal gas)

一單原子理想氣體之恆容熱容量

$$C_V = \frac{3}{2}R = 2.9807\ cal\ K^{-1}\ mole^{-1}$$

恆壓熱容量 $C_P = \frac{5}{2}R = 4.9678\ cal\ K^{-1}\ mole^{-1}$

由上二式知 $r = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3} = 1.67$

$$C_P - C_V = R$$

但此式不適用於多原子氣體，因爲多原子氣體的內能，尙須計及分子的轉動能及振動能，而實際氣體也要考慮到它的內位能。

【理想氣體常數】(Ideal gas constant)

假想之理想氣體遵奉下列方程式

$$PV = nRT$$

其中R即爲理想氣體常數，理想氣體常數R值視所採用P與V之單位，及原子量標(*atomic weight scale*)之定義而定。

常用的R值有下列三種：

1. $R = 0.0820549$ *l-atm / deg · mole*
2. $R = 8.314 \times 10^7$ *erg / deg · mole*
3. $R = 8.314$ *joule / deg · mole*

參閱“理想氣體(*Ideal gas*)”條。

【理想氣體溫標】(Ideal gas temperature scale)

理想氣體溫標之設立，乃是取水之三相點(*triple point*)之溫度爲273.160°，此時水、冰與水蒸氣共存於水平衡。因壓力與溶於水內空氣量之變化，三相點較攝氏溫標定義所慣用之冰點(*conventional ice point*)猶富再現性(*reproducible*)。慣用冰點較三相點低0.010°，故0℃相當於273.150°K。

【理想費米氣體】(Ideal Fermi gas)

由費米質點組成之系統，通稱爲費米氣體。在費米氣體中，其質點間之相互作用可以忽視者，則特稱爲理想費米氣體。例如由金屬中之傳導電子組成之系統，在通常情形可視爲理想費米氣體。

【理想晶體】(Ideal crystal)

在固體中將相同的構造單元規則地在空間重複排列，無限地擴展，就是所謂理想晶體。最簡單的晶體，如銅、銀、金以及鹼金屬等，構造單元只有一個原子。通常構造單元可包含數個原子或分子，甚至有 10^5 原子的蛋白質晶體。晶體的構造是用晶格描述，然後在每一晶格點上放置一群原子（即構造單元），這群原子就稱爲根基(*basis*)，根基在空間無限堆集以構成晶體，可以用下式表示：

晶格＋根基＝理想晶體

常見的晶格有體心立方、面心立方等。根基則隨物質而不同，相同的格子放置不同的根基就可造出不同的晶體。

“理想”兩字的意思在於數學上的抽象化，一個實際的晶體並不無限延長，並且還有許多構造上的缺陷以及雜質的存在。但是爲了數學上處理的方便，往往將晶體理想化，即免計所謂表面效應及欠完美性，前者以薄膜爲代表，後者則有半導體導電性、色心等效應。事實上表面效應在通常情況下並不重要，以一包含 10^{24} 原子的晶體爲例，表面原子只佔全部的 $(10^{24})^{2/3}/10^{24}=10^{-8}$，所以這種數學上的抽象處理是合理的。

【理想熱機之效率方程式】(Efficiency equation of ideal heat engine)

依據熱力學第二定律，我們不可能把所有的能量都化爲電力，也就是說，效率 100 %的熱機是不可能的。實際上，假如引擎的效率太高，能量交換單位就要由冷卻劑中提取更多量的熱，冷卻劑的溫度會降得很

低，而使散熱器難於將廢熱散發掉。但爲計算上的方便，我們常藉下列理想熱機的效率方程式來計算：

$$e = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

其中 e 爲卡諾效率（*Carnot efficiency*）。（紀念導出此理想熱機公式的法國人莎地卡諾 *Sadi Carnot*）。

T_1 爲熱源的溫度，以絕對溫度 °K 或列氏溫度 °R 表之。

T_2 爲散熱器的溫度，以絕對溫度 °K 或列氏溫度 °R 表之。

【理想導電性】（Perfect conductivity）

某些金屬的電阻係數，在接近絕對零度時會降到 0，這個現象首先由翁奈士（*H.K. Onnes*）在 1911 年發現。當初他用來做實驗的東西是汞，實驗結果如圖 11 — 133 所示，汞的電阻在 4.2°K 附近時，由 0.12 歐姆突然降到 10^{-5} 歐姆以下。昆恩（*Quinn*）和伊特寧（*Ittnen*）在 1962 年做了一個實驗，他們測量薄鉛環通以超電流（*supercurrent*）時，由感應所生的磁矩對時間的關係。結果他們認爲鉛在超導性狀態時的電阻係數低於 3.6×10^{-23} 歐姆－厘米。把這個數字和鉛在室溫時的電阻係數 10^{-7} 歐姆－厘米做一比較，就可以知道其差距之大了。

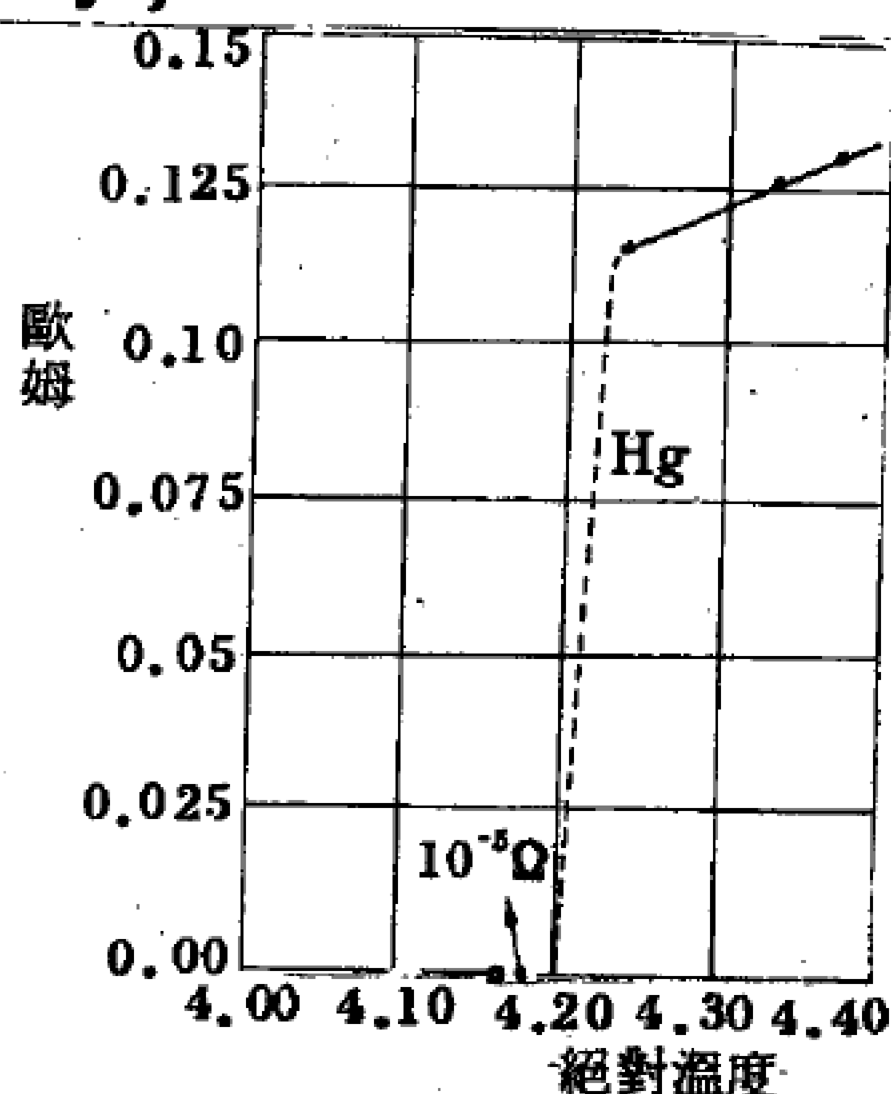


圖 11 — 133
汞電阻歐姆值和絕對溫度的關係

故一般的導體被稱爲正常導體（*normal conductor*），相轉變時的溫度叫轉變溫度（*transition temperature*），以 T_c 來表示。轉變後電阻係數爲 0 的導體叫超導體（*superconductor*），這種轉變雖然沒有外形上的變化，嚴格來講也是一種相轉變，這種性質就叫做理想

導電性。

根據歐姆定律，一個導體如果有直流電通過時，則任何兩點間的電位降V、電阻R和電流I之間，有下列線性關係：

$$V = RI$$

這也就是說電位降落和電流成正比，其比例常數爲電阻。又導體若是超導體，其電阻應該爲0，此時歐姆定律應該還是成立的。現在情況則變成爲在超導體裏面，即使有電流通過，因爲電阻爲0的關係，並不必要有電位降落。再根據焦耳定律（*Joule's law*），通過導體的電流，在單位時間裏要消耗熱量

$$W = I^2R = VI$$

對超導體而言，$R = V = 0$，也就是雖然有電流通過，但是不消耗能量。故如果用超導體來做導線，就可以避免焦耳熱的無謂消耗。

【理想響應】（Ideal response）

中頻放大器其放大頻段爲10KHz時，理想的響應就是在此10KHz範圍內各頻率均勻的放大。

【現象】（Phenomenon）

宇宙間所起之各種事實均謂之現象。其起於自然者爲自然現象，如風吹、水流、火燃等皆爲自然現象。自然現象中，有關於物質之變化者，如薪炭燃燒；有關於物質形態變化者，如水之成冰或蒸氣。前者謂之化學的現象，後者謂之物理的現象。

【瓷質電容器】（Ceramic capacitor）

以陶瓷作介質的電容器。

【瓷器絕緣體】（Porcelian）

以瓷器作爲絕緣體稱之爲瓷器絕緣體。絕緣體又稱爲非導體或電介質。例如瓷、橡皮、玻璃、膠木、油、漆等都是絕緣體。

【產物】（Products）

化學反應或核反應後的生成物。

【產率】(Yield)

核爆炸時所放出的能量的總和爲產率。通常以相等噸數的梯恩梯炸藥表示之(即產生同樣能量所需的梯恩梯炸藥的數量)。低產率通常指 2 萬噸級以下者；低中級產率則指 2 萬噸至 20 萬噸之間者；中級產率表示 20 萬噸至 100 萬噸級之間；自 100萬噸級產率以上，則尚無標準名稱。

參閱"梯恩梯炸藥當量(*T.N.T. equivalent*)"條。

【畢安其恆等式】(Bianchi identity)

由曲率張量定義的關係式，對 x^l 作協變微分，得一複雜的關係式，但是在極端線坐標系統內，可以簡化爲

$$R^h{}_{ijk;l} = \frac{\partial^2}{\partial x^j \partial x^l} \left\{ {h \atop i\ k} \right\} - \frac{\partial^2}{\partial x^k \partial x^l} \left\{ {h \atop i\ j} \right\}$$

由此式，將 ljk 順序對換，則得

$$R^h{}_{ijk;l} + R^h{}_{ikl;j} + R^h{}_{ilj;k} = 0$$

將上式的 $h\,k$ 降秩，並由雷其(*Regge*)向量及曲率純量的定義，可得

$$\left(R^l_j - \frac{1}{2} \delta^l_j R \right)_{;l} = 0$$

上兩式均稱爲畢安其恆等式，此恆等式在一般相對論中非常重要。因爲此恆等式純爲幾何上解析的結果，而物理上的守恆律則爲

$$T^l_{j;l} = 0$$

T^l_j 爲物質的能量動量張量(*energy-momentum tensor*)。所以要將幾何與物理聯合(如一般相對論的基本假設)，則可以將上二式寫成一恆等式

$$\left(R^l_j - \frac{1}{2} \delta^l_j R - C T^l_j \right)_{;l} = 0$$

式中 C 爲任意常數。

【異步電動機】(Asynchronous motor)

一種交流電動機，其中電流在定子繞組內產生旋轉磁場，此磁場在轉子繞組內感應出電流，並作用於此電流而使轉子旋轉。不過要使定子的旋轉磁場在旋轉著的轉子內感應電流，則轉子在自己的迴轉中，應當比定子的旋轉場稍微落後一些。因此，在異步電動機裏，轉子的迴轉速度總是略小於旋轉磁場的轉速(磁場轉速決定於饋給電動機的交流電流的頻率)。電動機的負荷愈大，則轉子對定子旋轉磁場的落後(異步電動機轉子的"轉差率")亦愈大。在定子磁場與轉子迴轉之間沒有同步，這就是異步電動機的特點。定子內旋轉磁場的獲得，是藉助於由相位不同的電流所供電的繞組。爲了這個目的，通常採用三相電流。同時也還存在著單相異步電動機，其中各繞組內電流間的相位移是由在各繞組內接入各種不同的電抗而獲得的。

【異相】(Out of phase)

又名脫相。兩週期相等之週期波，其波峯不同時產生者，則此兩波互爲異相。例如兩個週期相同之起波器入水時，其中一具較另一具稍微落後或提前一週期之幾分之幾，而生成不同相之兩波。總之，所謂異相卽指其相位不完全相同的兩個波。

【異重素】(Allobar)

異重素是元素的另一種形式，它的同位素組成(或稱爲同位素比較含量)及平均原子量與存在於天然界的元素之普通形式不同。

【異常則曼效應】(Anomalous Zeeman effect)

一般的則曼效應並不像正常則曼效應簡單，其情形有(1)分裂間隔較複雜，(2)分裂的線數更多。研究其光譜線的裂開時，把自旋考慮進去，並且假定外磁場$\vec{B}$不太大，而且原子是屬於$L-S$耦合的，這$L-S$的耦合不會被$\vec{B}$所破壞。這裏，由總角動量$\vec{J}$所產生的磁矩，就不再是如軌道角動量的公式$\vec{\mu}=-\frac{e}{2mc}\vec{L}$了，由$\vec{L}$所產生的磁矩是

$$\vec{\mu}_L = -\frac{e}{2mc}\vec{L}$$

但由$\vec{S}$自旋產生的磁矩

$$\vec{\mu}_S = -\frac{2e}{2mc}\vec{S}$$

所以其總磁矩應是

$$\vec{\mu}_J = -\frac{e}{2mc}\left[\vec{L}+2\vec{S}\right] \qquad (1)$$

$\vec{\mu}_J$ 的方向並不與$\vec{J}=\vec{L}+\vec{S}$的方向平行，而是差一角度，在$L-S$耦合時，$\vec{L}$和$\vec{S}$會對$\vec{J}$做進動，因此，$\vec{\mu}_J$也以同樣的角速度對$\vec{J}$做進動。而當外磁場加上去之後，$\vec{\mu}_J$也要對Z（磁場方向）做進動，因此 $\vec{\mu}_J$的運動就會變得非常複雜了，這就是要 $\vec{B}$小的原因，因爲$L-S$交互作用所牽涉到的磁場的大小大約是10^4高斯（*gauss*），因此如果所加的磁場遠弱於10^4高斯，則 $\vec{\mu}_J$對磁場的進動角速度，就遠比對$\vec{J}$做進動要小得多，如此可以先找出 $\vec{\mu}_J$ 在$\vec{J}$方向的分向量的平均值，當作有效的磁矩大小和方向，其他的均互相抵銷掉了。以 μ_J 來表示 $\vec{\mu}_J$ 在$\vec{J}$方向之分向量，則有

$$\mu_J = \frac{\vec{\mu}\cdot\vec{J}}{|\vec{J}|}$$

而在磁場中之能量卽爲

$$\Delta E = -\mu_J\frac{\vec{J}\cdot\vec{B}}{|\vec{J}|} = -\frac{(\vec{\mu}\cdot\vec{J})(\vec{J}\cdot\vec{B})}{J^2} \qquad (2)$$

把(1)代入(2)中，卽得

$$\Delta E = \frac{\mu_B(\vec{L}+2\vec{S})\cdot(\vec{L}+\vec{S})J_z B}{\hbar J^2}$$

其中$\mu_B \equiv \dfrac{e\hbar}{2mc}$稱爲波爾磁元（*Bohr magneton*）。因爲

$$(\vec{L}+2\vec{S})\cdot(\vec{L}+\vec{S}) = (L^2+2S^2+3\vec{L}\cdot\vec{S})$$

而且

$$3\vec{L}\cdot\vec{S} = \frac{3}{2}(J^2-L^2-S^2)$$

所以

$$\Delta E = \frac{\mu_B B}{\hbar} \quad \frac{(3J^2 + S^2 - L^2) J_z}{2J^2}$$

因此

$$\Delta E = \frac{\mu_B B}{\hbar} \left[\frac{3j(j+1)\hbar^2 + s(s+1)\hbar^2 - l(l+1)\hbar^2}{2j(j+1)\hbar^2} \right] m_j \hbar$$

爲了方便起見，把ΔE寫成下面的形式

$$\Delta E = \mu_B B g m_j \qquad (3)$$

則

$$g = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \qquad (4)$$

g稱爲蘭德g因數（*Landé g factor*）。

由（3）與（4）就可以看出原子在磁場中能階的分開情形，再加上$\Delta m_j = \pm 1, 0$選擇定則的限制，則很容易得出異常則曼效應中其應分開的光譜線數。

因此，在這裏能階的裂開已不如正常則曼分裂一樣，只與m_L有關。在正常則曼效應中，分裂的能階量差是一定的。而在此其分裂能量差對每個不同的j、l、s都會不同。從（4）式中很容易發現，當$s=0$而$j=l$時$g=1$，則此效應就與正常則曼效應一樣。所以當我們所處理的原子中幾個電子自旋的和是0，則這種原子在外加磁場中就會有正常則曼效應，否則的話就是異常則曼效應。

【異構物】（Isomer）

原子核中原子序數及質量數皆同，僅半衰期不同之核互稱爲異構物。兩者的區別，僅爲一個在受激態，並經過衰變過程放出γ射線而至低能態，其衰變至低能態的躍遷稱爲異構躍遷（*isomeric transition*），經此躍遷後的原子核，其質子數或質量數均保持不變。異構物存在之受激態稱爲異構態（*isomeric state*）。

1917年索第（*Soddy*）在研究同位素及同質素之際，便曾注意及

原子核中是否有原子序數相同，質量數亦相同的核。如此的實例終爲哈恩（*Hahn*）於1921年所發現。他發現UZ與UX_2具如是的性質，UZ係由UX_1（$^{234}_{90}Th$）行β蛻變而生，UX_2亦是由UX_1行β蛻變而生的元素，因而UZ及UX_2應同爲$Z=91$，$A=234$之元素。二者之區別在彼等之半衰期，前者以6.7小時，後者以1.14分之半衰期同行β蛻變而轉變爲$U\text{II}$，如圖11－134所示。

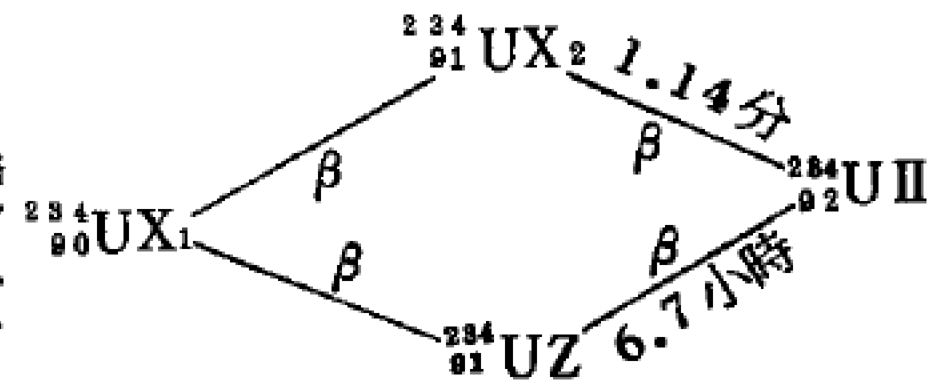


圖11－134

異構物之實例，在人工放射性元素發現（1934年）之前只有上述者。在人工放射性元素發現後，異構物之實例便逐漸的增加。其第二實例是$^{80}_{35}Br$，於1935年被發現。當以中子撞擊Br時，則發現有半衰期分別爲18分、4.4小時及34小時之三種β放射性發生，此顯然因中子之捕獲所致。在另一方面，因Br之穩定同位素只有^{79}Br及^{81}Br兩個，故上述三種放射性必得歸屬於^{80}Br及^{82}Br。1937年由波特(*Bothe*)等人之研究，始悉半衰期爲18分與4.4小時之二放射性均導自^{80}Br。

關於異構物理論的解釋，首爲威沙克（*Weizsäcker*）於1936年提出，而認爲異構物爲一處在準穩定之受激態的核，它往更低能階之因γ輻射的轉移不易實行。根據此項見解及其以後的研究，UZ之蛻變圖案，可以圖11－135表示之。在UZ之情況，自UX_2趨向UZ之因γ輻射之直接轉移甚少。

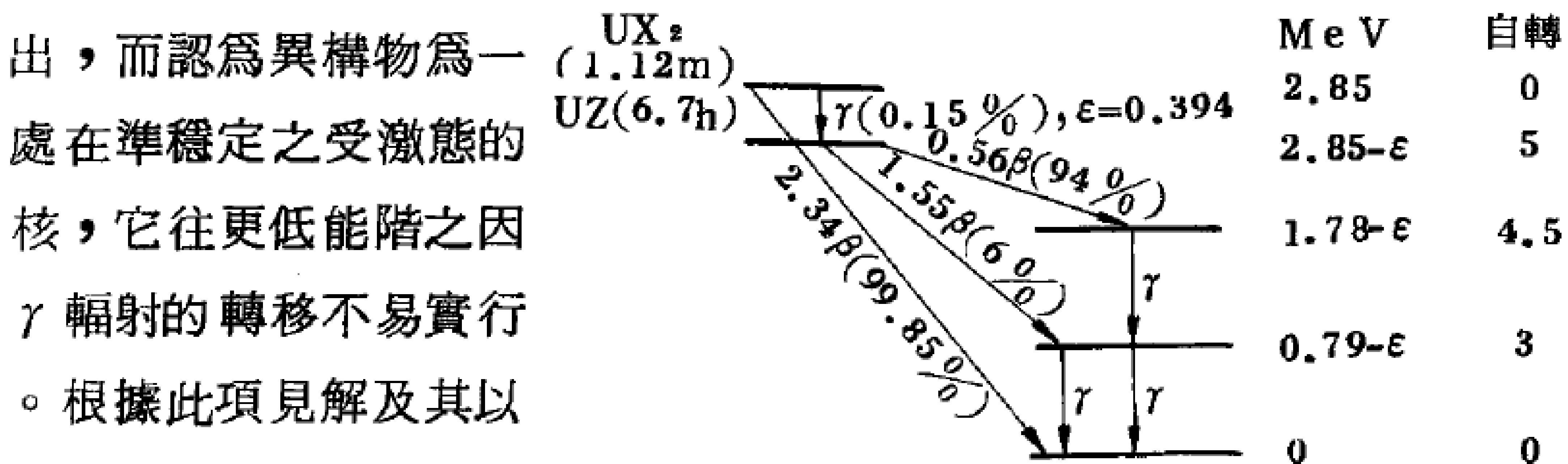


圖11－135

【疏密波】（Wave of condensation and rarefaction；Longitudinal wave）

如縱摩擦棒時，棒內各質點之振動，及發音體振動時，周圍空氣分子之振動，均與其振動傳達之方向（即波動之方向）一致，此種波動稱爲疏密波或稱爲縱波。成疏密波之質點，恆於進路中某處密集，某處遠離，交互生疏密部分，成波而進行。又疏密波之密部，與高低波之波峯相當，疏部與波谷相當，從第一密部至相鄰之其次密部，或從第一疏部至相鄰之其次疏部之距離，謂之一波長。發音體每一次振動，則生一波長之波，前進一波長所需之時間謂之週期。茲令一秒間之振動數爲 n，週期爲 T，音波之速度爲 v，波長爲 l，則得

$$Tn = l \qquad v = nl \qquad l = \frac{v}{n} = Tn$$

此三式皆爲波動之重要公式。

【疏耦合】（Loose coupling ; Weak coupling）

又稱弱耦合，指兩線圈或兩電路僅有少許耦合程度者。即一電路電流之變化，對他電路只有極小的影響，則此二電路之關係爲疏耦合。

【眼睛】（Eye）

圖 11 — 136 爲人之正常眼睛的剖面圖。眼睛是球形，直徑約爲1吋，以一強韌的、透明的外層稱爲鞏膜（*sclerotic*）所包圍。眼睛之前方爲一彎曲更大的球

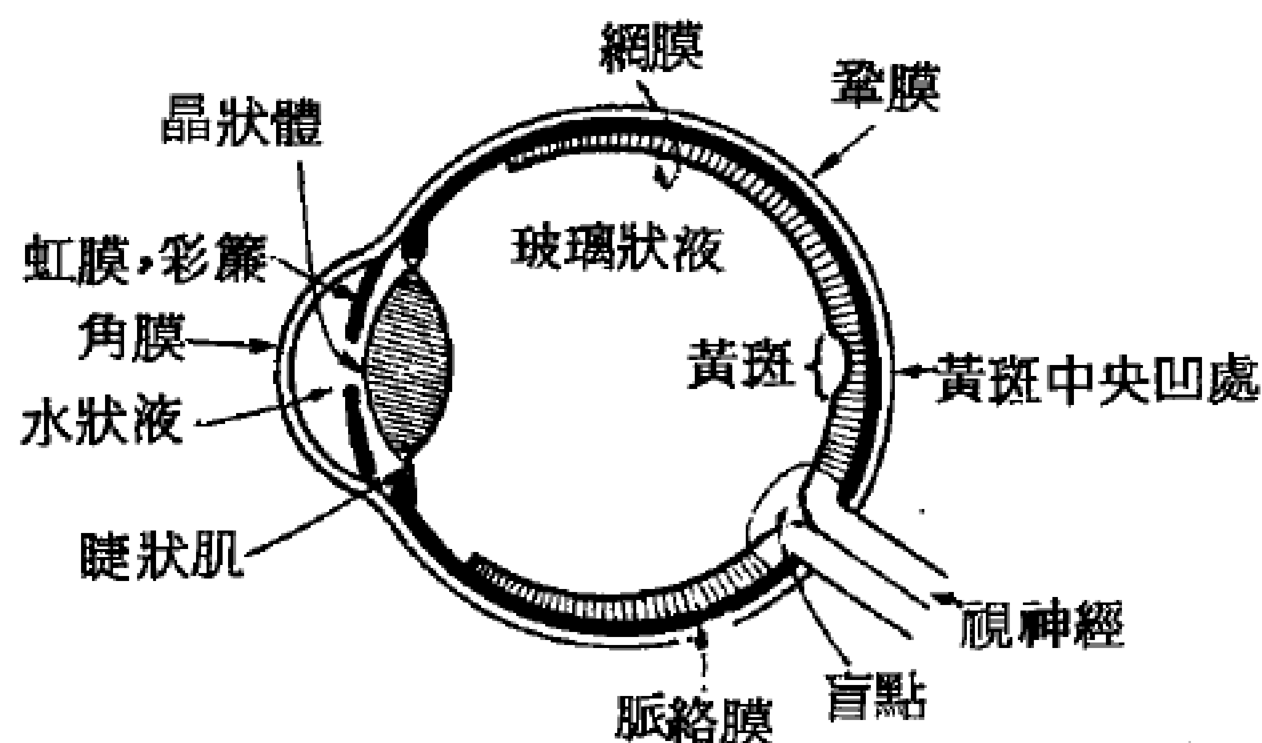


圖 11 — 136

形透明層稱爲角膜（*cornea*），約厚0.5毫米，其二表面約有平均半徑7.2毫米，而折射率爲1.38。角膜後方區域中充滿一種液體稱爲水狀液（*aqueous humour*），其折射率爲1.33，此液之後面爲晶狀體，其形狀爲雙凸體，由許多透明層所組成，該透明層之折射率中央部分爲1.41 而外層爲1.38。因睫狀肌（*ciliary muscle*）之作用，晶狀體

能變化其形態，而此系統之能力能調整不同距離物體之物像聚焦在網膜（*retina*）上，此聚焦效能稱爲調節（ *accomodation* ），因此正常的眼睛能淸晰看見距眼極遠乃至 10 吋近之物體。眼睛聚焦一甚遠之物體時，其晶狀體前後二表面之曲率半徑分別約爲10毫米及6毫米，而其厚度約爲3.6毫米。

緊接晶狀體後部之空間充滿一種透明膠凍狀介質稱爲玻璃狀液（ *vitreous humour* ），其折射率與水狀液者相同。

晶狀體之正前方有虹膜或稱彩簾（*iris*），可自動控制進入眼睛之光線量。呈藍、棕、灰或深暗色是由於虹膜含有具高度吸收光之色素細胞（ *pigment cell* ）。在虹膜中之圓孔稱爲瞳孔（ *pupil* ），能將其直徑在約8毫米至2毫米範圍內變化。

鞏膜內層最接近的是脈絡膜（ *choroid* ）含有黑色素細胞可吸收任何穿過鞏膜之光線，故防止任何到達網膜之漫散光線。

在脈絡膜及玻璃狀液之間有一更內層稱爲網膜。可視爲一敏銳的接收屏幕，在此屏上外界之物標形成一淸晰之物像，乃一種透明組織緊密地被覆在神經末梢，由此末梢刺激經由視神經（*optical nerve*）而傳至腦部（ *brain* ）。網膜中具感光作用之質素爲視紫素，視紫素中維生素 *A* 之存在，對視覺有決定性的影響。

在網膜進入視神經處右上方有一小下陷處稱爲黃斑（ *yellow spot* ），在此斑點之中心小區域特稱黃斑中央凹處，在此視覺最爲敏銳，且在試圖淸晰分辨一物標時物像直落於此。

在黃斑旁邊靠鼻子的地方，另有一處對光刺激是毫無感覺的，該處爲視神經進入眼睛之處，稱爲盲點。

視覺乃是訊號經眼睛後部網膜上之錐狀細胞（ *cones* ）及桿狀細胞（ *rods* ）傳送至腦的結果，錐狀細胞係對強光，如白晝之光，很敏捷之組織，其對顏色很敏感；反之，桿狀細胞係能對很微弱之光，如昏暗室

中之光，起反應之組織，其對顏色毫無感覺；由錐狀細胞所產生之視覺稱爲對光視力（*photopic*）；而由桿狀細胞所產生者稱爲黑暗視力（*scotopic*），眼睛對不同波長之兩種視覺的感光度如圖 11－137 所示。

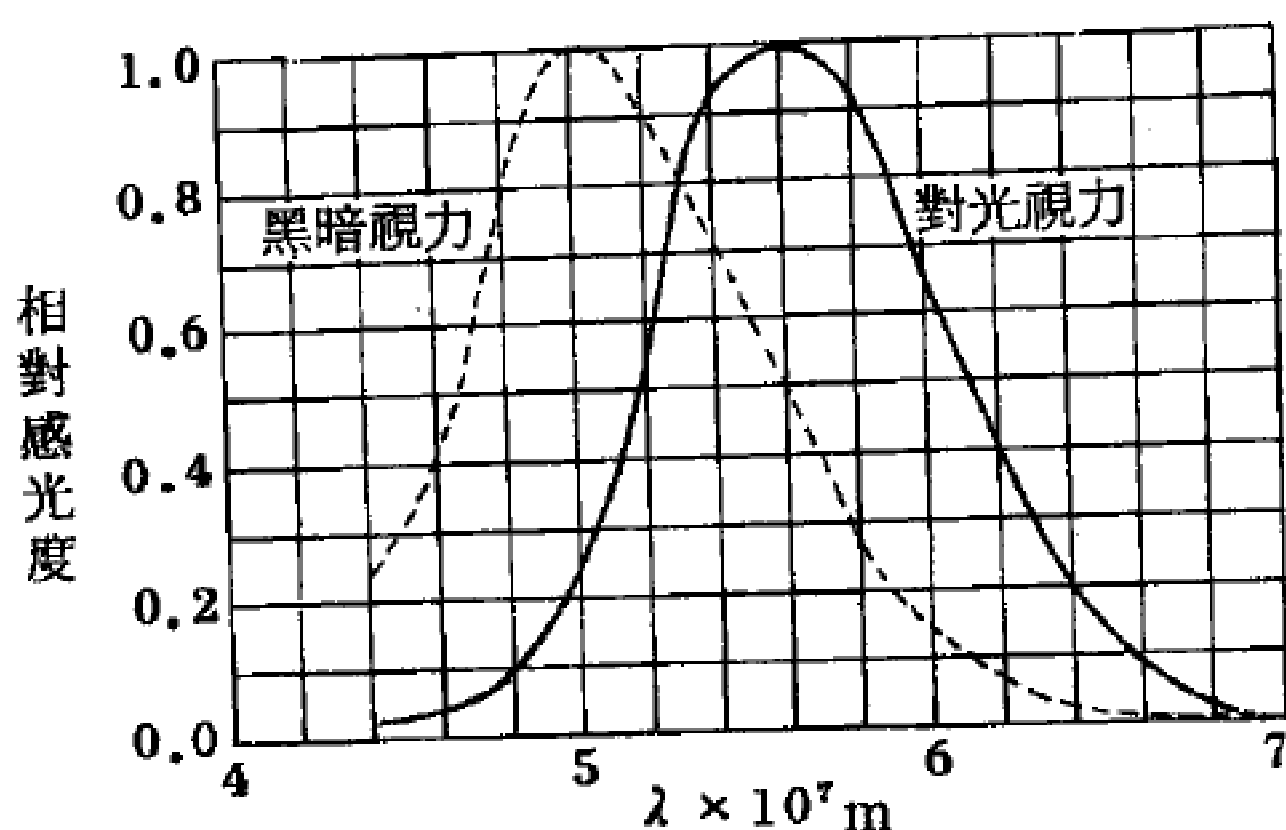


圖 11－137
眼睛對於黑暗視力及對光視力的感光度

【眼鏡】（Spectacles）

眼鏡有近視眼鏡及遠視眼鏡（老花眼鏡）二種，玆分別敘述如下：

近視眼較正常眼之明視距離近，不能見遠處之物體，然用玻璃作凹透鏡，置眼前，則在正常眼之明視距離處之物體，見之恰如在其明視距離處而得見遠物，所用之凹透鏡稱爲近視眼鏡。

遠視眼較正常眼之明視距離遠，不能見近物，然用凸透鏡置眼前，則在正常眼明視距離處之物體，見之如在其明視距離處，故見近物所用之凸透鏡謂之老花眼鏡。

配戴眼鏡計算之方法：

1. 視眼鏡與晶狀體爲複透鏡；晶狀體與網膜間距離爲像距、明視距離爲物距。

2. 以眼鏡爲單透鏡，戴眼鏡時之明視距離爲物距，未戴時之明視距離爲（虛）像距。卽眼鏡之功用在使置於常人明視距離之物，生一虛像於此人明視距離之前。

其計算公式：

$$\frac{1}{\text{戴眼鏡後之明視距}} - \frac{1}{\text{未戴眼鏡前之明視距}} = \frac{1}{\text{配戴眼鏡的焦距}}$$

透鏡之種類：凸（凹）決定於焦距之正（負）。

透鏡之焦度（ *focal power* ）即透鏡度（ *power of lens* ），其大小與焦距的大小成反比。

【眼鏡的度數】（ **Degree of spectacles** ）

就是指眼鏡的焦點距離用吋表示的數值。例如，焦點距離爲 10 吋的眼鏡的度數即爲 10 度。這種度數愈大，焦點距離愈長，也就是度數愈弱。

此外，也有採用“喬普托利”的單位的，就是以米制單位量得的眼鏡焦點距離的倒數表之。例如，焦點距離爲 50 *cm* 的透鏡即爲 $\frac{1}{0.5}=2$（喬普托利）。此値愈大，焦點距離愈短，眼鏡的度數愈強。一般採用此種單位。

【硒】（ **Selenium ; Se** ）

硒是週期表中第六族的元素，原子序爲 34 ，其性質與硫相似，故常與硫化物共同產出。硒有多種異形性，半導性的硒爲鐵灰色，是一具金屬光澤之晶體，亦可成暗紅色的晶體或粉末。溶於二硫化碳及濃硫酸，不溶於水或乙醇。硒在空氣中燃燒產生紅色微藍火焰而生二氧化硒，半導性的硒比重爲 4.79 ，熔點爲 217 °C ，沸點爲 685 °C 。硒的導電性與照射其上光線的強度成正比。

硒因與硫共生，故在含硫礦物煅燒的廢氣中可收集其氧化物，電解銅時的陽極泥中亦含有多量之硒。二氧化硒可用二氧化硫的水溶液還原，硒亦可用昇華法精製。硒加入玻璃中可產生深紅色，加入橡膠可使之硬化。硒因其半導性可製整流器，因其光導性可製光電表、曝光表以及乾式影印術（ *xerography* ）。

【硒光電池】（ **Selenium cell** ）

是半導體光電池的一種，它能將光能直接轉換爲電能。其構造是在一塊硒片的兩面，塗上金屬薄層作爲電極，再經過一定的處理而成。金屬層有一面是半透明的，以便透入光線。當光照時，兩金屬電極分別帶

正負電荷，因而產生電動勢。

硒光電池電效應被廣泛應用。如果光線落在硒元素的薄膜上，硒元素對電的阻力就減少，所以如果接一電池在硒上，通過的電流就更大些，利用電子管可以把它放大到我們所需要的程度。如果使光的強度變動，電流也相對的發生變化，所以如果適當的利用硒光電池的變化，就能將光轉變爲言語，正如我們運用光電管一般。但是光電管對光變動的反應是卽刻的，而硒光電池反應稍微緩慢，所以它很少應用在這方面上。硒光電池在其他方面亦有很多用途。有些城市中的路燈利用硒光電池自動啓開，當天光變暗時硒光電池的電阻上升，因而產生的電流變化可以用來控制一個開關。防盜鈴也可以運用同樣的原理操作，當一黑暗房中有光出現時警鈴就響了。

硒光電池爲一種光導電池。其他種類的光導電池可以用硫化鉛、硒化合物、碲化合物的薄膜製成，當輻射線照在上面，它們的導電性同樣的發生了變化。它們對可見光的反應不太靈敏，但是它們的優點是對紅光線特別是超紅外線的反應很好，普通的光電池對這些紅外線是不起反應的。

【硒整流器】(Selenium rectifier)

將一層薄硒夾在兩金屬片間，將交流電整流成爲直流電的器具稱爲硒整流器，其可使用於充電、電氣分解或其他需要直流的各種操作、實驗等。

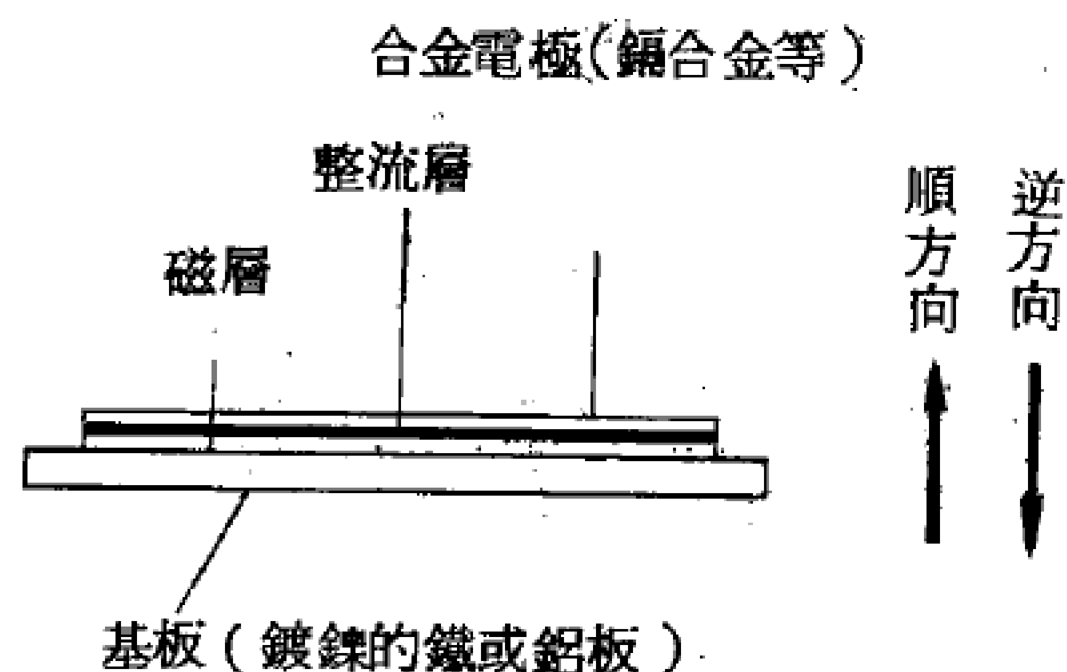


圖 11 — 138

硒整流器的構造，包括一硒整流板，如圖 11 — 138 以鍍鎳的鐵板或鋁板爲基板，在此基板上以眞空蒸著法鍍高純度的硒 (加微量的不純物如 0.015 %的碘爲活性

劑），經熱處理使活性化後吹上合金電極（鎘合金等易熔合金），經過熱及電的合成製成的。整流層將形成於硒與易熔合金的接觸面，而電流流通方向爲由硒往易熔合金方向。圖 11 — 139 爲硒整流板每單位面積的電壓電流特性曲線。

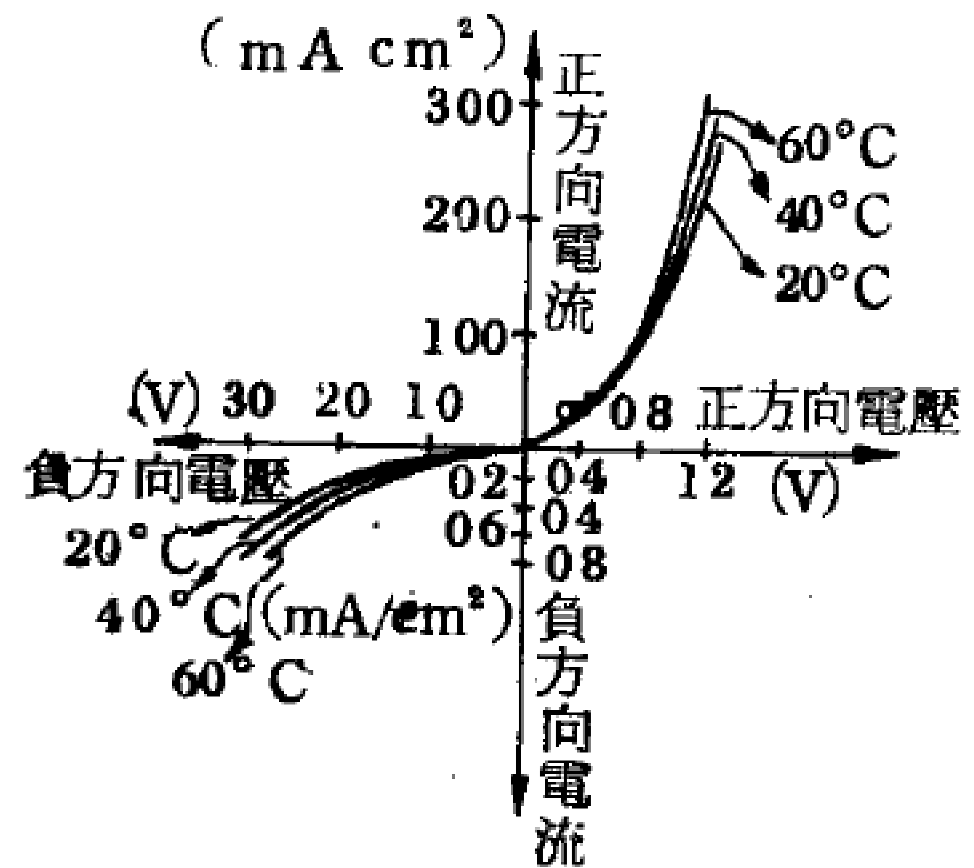


圖 11 — 139
硒整流器特性曲線

硒整流器將隨著所使用的電壓電流的大小，在一軸上裝若干張或數十張的硒整流板，而接成半波或全波整流體，與變壓器一起使用，其接線法如圖 11 — 140 所示。

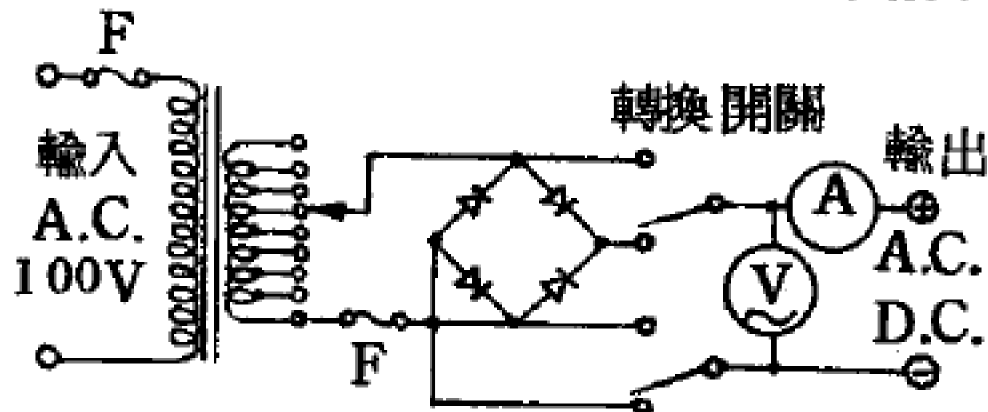


圖 11 — 140

使用硒整流器應注意不要流通規格以上的電流。硒整流器出來的爲脈流，可使用於充電、電分解、電鍍等工作，但使用於實驗時應加平滑電路除去脈流。硒整流板的逆耐電壓約爲 30 *V*，電流密度約爲 100 mA/cm^2，最高溫度爲 75 °C。超過這些值，特性則惡化。

【研究用反應器】(**Research reactor**)

研究用反應器乃是供給中子或者 γ 射線以用來研究應用物理學、生物學、化學或輻射對各種物質的影響之一種設計。它的特徵是有長的圓洞以使中子及 γ 射線離開核心（ *core* ）。通常此種反應器可供給某些同位素。

國立清華大學的水池式反應器和美國橡樹嶺國家實驗所的水池式反應器均屬此類。爐心置於水池的底部，四周大量的淨水作反應器冷卻劑、緩速劑、反射體和遮蔽之用。清華大學反應器的燃料爲20%濃縮鈾-235，製成爐心的大小約爲 15吋 × 18吋 × 24 吋，控制棒共四片由

碳化硼和不銹鋼等主要材料製成，反應器水池由鋼筋混凝土（約厚8呎）製成以防止放射線外洩，整個反應器的體積約爲長27米、寬20米和高21米。

因研究用反應器係利用所產生的中子供作各種實驗和研究之用，故通常按它們的中子通量來分類，也就是中子場或是中子束的強度，中子通量則和一個反應器的功率階有關，也和反應器的設計因數有關。

研究用反應器的設計，因採用的燃料、冷卻劑、緩速劑及操作方式的不同而分成很多種：(1)石墨反應器，(2)水鍋反應器，(3)水池反應器，，(4)匣型反應器，(5)重水反應器，(6)脈衝反應器，(7)高通率反應器，(8)特殊反應器。其中最常見的兩種是“水池式”和“匣式”（*tank*），前者之反應器核心是吊在一個很深的、開口的水池中，這個水池具有冷卻、緩和及屏蔽的功用。這種裝置具有相當的活動性，因爲核心的位置可以很容易地被移動，然後把實驗器材放進去，因而直接觀察各項步驟的進行。

在匣形反應器中，反應器核心是被固定地放在一個封閉的匣內。較常用的冷卻劑是水，但有時亦用重水。通常匣形反應器在操作時，其功率較水池式反應器爲高，也就是具有較高的中子通量。

建造一個研究用反應器究竟要花多少錢？這很難一概而論，因爲它是依反應器的型式以及其輔助設備而不同的，一個水池式反應器包括建築物以及輔助設備等。

多數的研究用反應器都具有實驗管（*beam tube*）、熱中子室（*thermal column*）、試樣照射管（*sample irradiation tube*）、照射梭（*rabbit device*）以及其他特殊儀器。典型之設計如圖11—141之水池式研究用反應器剖視圖，以及圖11—142之*T.R.I.G.A.*反應器（*training, research and isotope production reactor-general*

atomic，訓練、研究及同位素生產的簡稱）剖面圖。

茲分述研究用反應器內六種共同的實驗設備：

1. 實驗管——是一根空管，從核心或核心附近通達屏蔽表面，它使中子能自由到達屏蔽外之實驗設備。屏蔽上通常有門或照射開關（*shutter*），當不需要中子的時候，用來關閉中子射柱（*neutron beam*）。它的作用如同照相機上的光開關一般，不過它有兩呎厚並且移動緩慢。科學家常利用一些其他的東西以使射柱的形狀規則化，以符合我們的需要。通常我們需要的是錐形射柱，因此要用準直儀（*collimator*）或聚焦器（*focusing device*）去掉所有不在我們需要的方面及範圍的中子。如果 γ 射線實驗的進行有干擾，還要加上鉍或鋁過濾器（*filter*），它能吸收 γ 射線，但中子能自由通過。

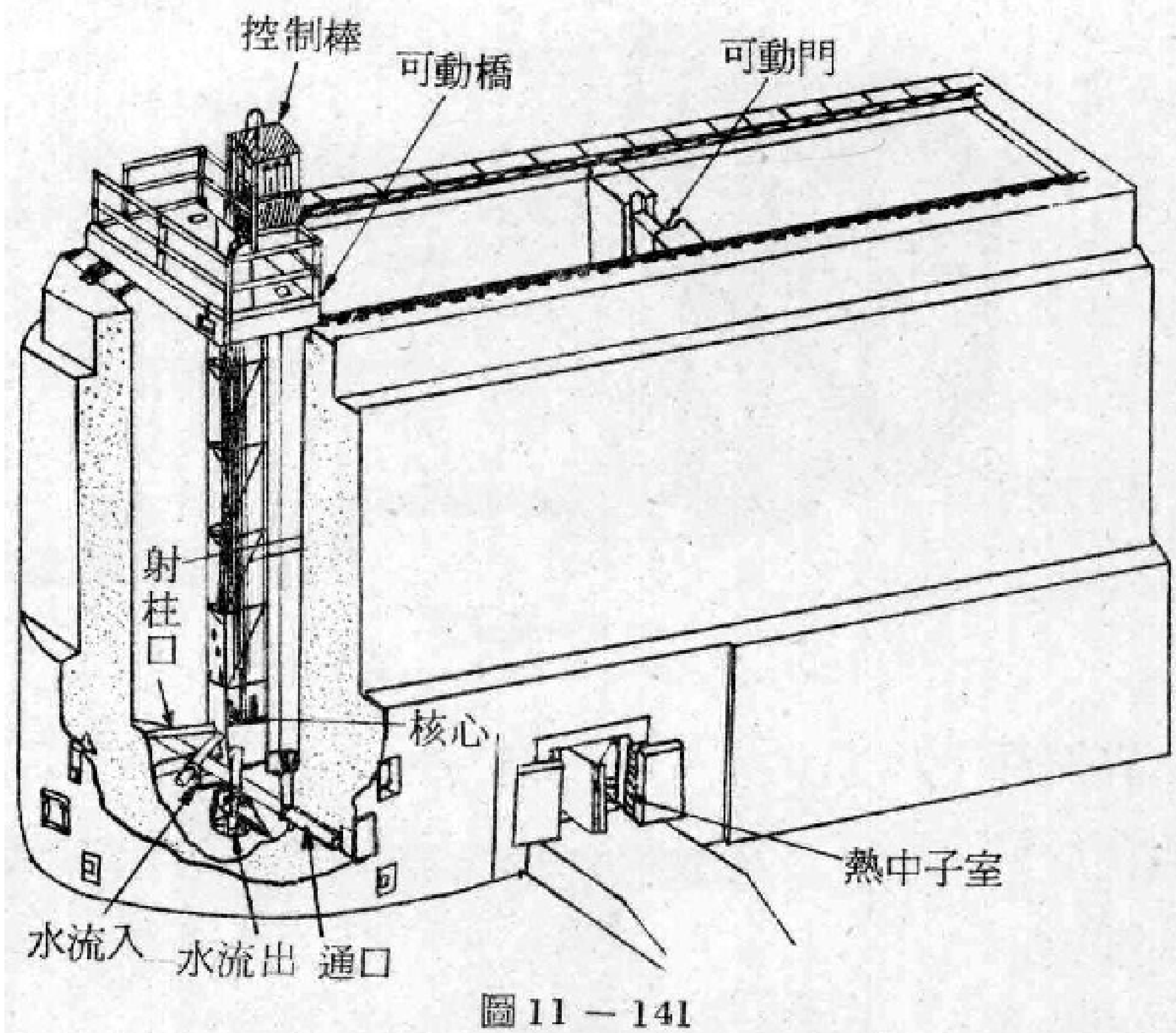
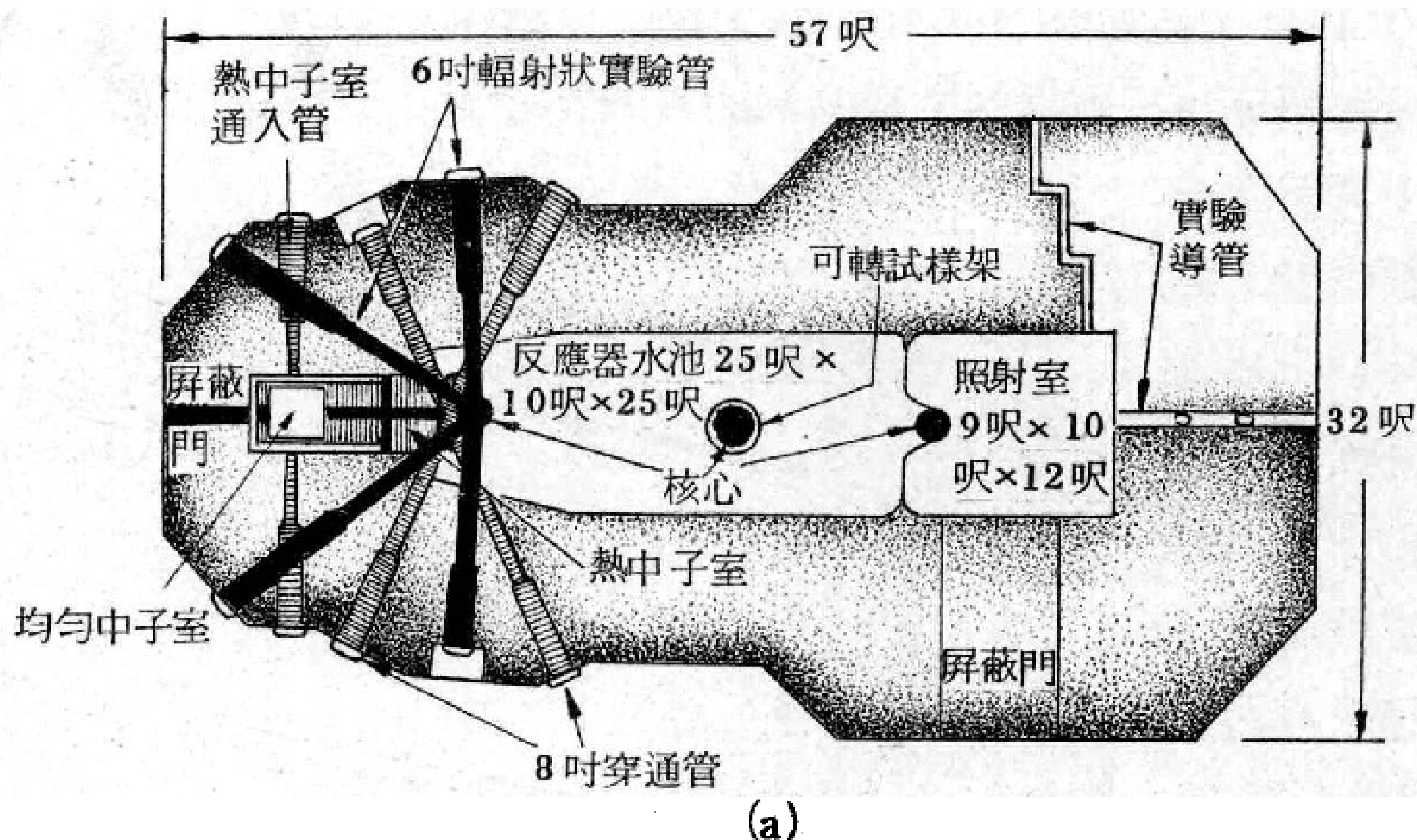


圖 11 — 141

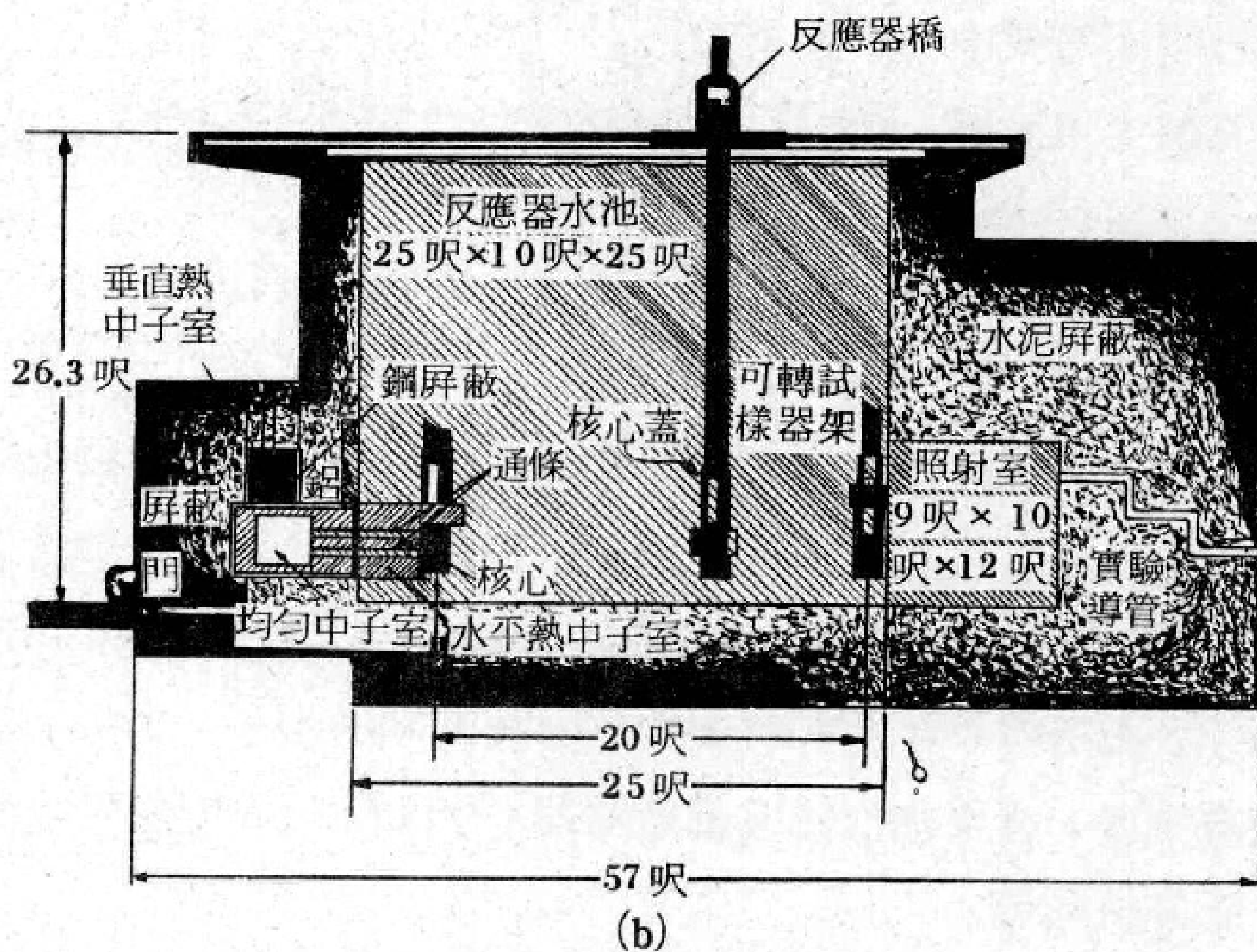
水池式反應器的實驗儀器，這些儀器在其他類型的研究用反應器中大部分也有

2. 照射梭——使試樣能很快而容易地放入高中子通量區域。試樣放在運送工具上，利用空氣或水的壓力經一根管子進入核心。照射完畢後直接送回實驗室以供研究。

3. 熱中子室——是從屏蔽一直到反射體邊緣的一個開口，充滿著能使中子減速但不吸收中子的物質，最普通的是石墨，它不但產量豐富、



(a)



(b)

圖 11 — 142

水池反應器及其實驗裝置之垂直與水平剖面圖。大的照射室有很多用途。注意核心的三個位置。均勻中子室是被良緩速劑圍繞著的一個空間，在這裏我們可以有幾乎均勻的中子通量。四周細點的區域都是屏蔽。

便宜而且還便於精確製造。其他物質如重水（D_2O）以及鈹、二氧化鈹也可以用來充塞熱中子室。從熱中子室逸出之中子已失去其大部分之能量，所有的只是熱平衡時的能量，也就是熱中子（*thermal neutron*

）或稱慢中子。其速度為 2,200 米／秒。

4. 穿通管（ *through tube* ）——是經由核心而穿過整座反應器的長管，試樣可在其中接受照射。如果因某種理由在核心一端的實驗裝置不能移動，而被照射物又要時時更換的話，照射物能從核心另一端進入。最常用的情形是用以研究物質被中子照射後放出 γ 射線的情形。

5. 試樣照射管——把試樣帶進中子強度最高的區域，在那裏可把裝有試樣的容器放入，暴露至所需要的程度後即移入一有屏蔽之容器內做進一步的研究之用。這種管子有助於半衰期（ *half life* ）短的物質之研究。

6. 試環（ *test loops* ）—— 在核心內維持長時間的一定情況照射。用冷水或空氣流經試樣，同時裝置熱偶（ *thermal couple* ）以測量及控制溫度。

研究用反應器是唯一可供實驗室用的多方面原子輻射的來源，它們能應用於廣大的科學領域內，例如：

(1)核物理學——以照射靶材料來研究核反應。

(2)固態物理——以中子繞射技術來確定材料的晶體結構。

(3)放射化學——研究輻射線對於化學反應的影響，以及對材料特性的影響，例如塑膠。

(4)分析化學——以活化分析方法來識別材料中的微量不純物。

(5)生物學——由照射植物種子所引起的基因轉變。

(6)醫藥學——以中子捕捉治療法來做一種腦癌的實驗性治療。

(7)其他——製造實驗室用的放射性同位素。

在有些實驗中，試驗材料被插入反應器中以接受照射，也有一些實驗則把實驗器材放在由反應器屏蔽的開口處所射出來的中子束途中。

【移近速度】（ Velocity of approach ）

二彈性球碰撞前移近時之相對速度（ $=V_{後}-V_{前}$ 或 V_1-V_2 ），稱為

移近速度。

【移動性高氣壓】(High pressure of mobility)

春秋二季西伯利亞氣團或長江氣團的一部分分裂，由偏西風的氣流吹向東方的高氣壓。

移動性高氣壓的進行速度，每小時平均約 40 ～ 50 km。受這個高氣壓籠罩時，晝間很暖和，但夜間即寒冷。所以春末時會有晚霜，對農作物的爲害很大。

由移動性高氣壓而來的好天氣只有一兩天，當它通過後接著而來的低氣壓很容易使天氣變壞。

【移動性常數與擴散常數的愛因斯坦關係】(Einstein relationship between mobility and diffusion constant)

謂 $\mu = \dfrac{eD}{kT}$ ，其中 μ 是電荷在半導體內的移動性常數， e 是電荷量，D是擴散係數，k 是波茲曼常數，T 是絕對溫度。

【移動能量】(Energy of translation)

平移物體之能量，係等於其質量m與其速度 v 之平方之乘積之半。平移能量又稱平移動能。

【移動率】(Mobility)

粒子的運動情形可分成兩部分，一是由粒子碰撞所引起，一是由外力所引起。粒子碰撞只造成粒子的散亂運動，所以粒子所獲得的平均速度等於 0，而外力的作用使粒子在力的方向上有一遷移速度，遷移速度和作用力成正比。若外力以$\vec{F}$表之，遷移速度以$\vec{V}$表之，粒子連續兩次碰撞間的平均時間爲 τ ，粒子質量爲m，則移動率 μ 可定義如下：

$$\mu = \frac{|\vec{V}|}{|\vec{F}|} = \frac{\tau}{m}$$

在電場中移動率爲：$\mu = |\vec{V}| / |\vec{E}| = e\tau/m$，對電子言 μ_e

$= e\tau_e / M_e$；對電洞言 $\mu_h = e\tau_h / m_h$ 。

【移動電臺】(Portable station)

指擔任移動業務的電臺設備，通常指船隻電臺或航空電臺。

【移調】(Transposition)

為適應各人之聲音及各種樂器起見，有時將主音之起點改變是為移調。移調之後，各音與主音頻率之比，仍須保持如下表中之比值。

音名	C	D	E	F	G	A	B	C
唱聲	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*ti*	*do'*
頻率(科學的)	256	288	320	$341\frac{1}{3}$	384	$426\frac{2}{3}$	480	512
頻率(弦樂的)	264	297	330	350	396	440	495	528
音程	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	
頻率比例數(最小整數)	24 :	27 :	30 :	32 :	36 :	40 :	45 :	48

【移調矩陣】(Transposed matrix)

若將一 $m \times n$ 矩陣 A 之行與列互換，成為新的 $n \times m$ 矩陣，稱為移調矩陣，以 $\widetilde{A}$ 表示之。如

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 4 & 6 & 9 \end{pmatrix} \qquad \widetilde{A} = \begin{pmatrix} 2 & 4 \\ 1 & 6 \\ 3 & 9 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} \qquad \widetilde{B} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

由定義可知任意二矩陣 C 與 D 之積 CD ，其移調矩陣 ($\widetilde{CD}$) 必為 $\widetilde{D}\widetilde{C}$ 。若 $A = \widetilde{A}$，則 A 稱為對稱矩陣。若 $A = -\widetilde{A}$，則為反對稱矩陣。

【第一三和音】(Tonic triad)

卽主三和音。

詳閱“大三和音（*Major chord*）”條。

【第一受激能】（First excitation energy）

一個原子所能接受的最低能量值稱爲該原子的第一受激能。

【第一級火箭】（First stage rocket）

以大氣操縱之火箭是用空氣做注射物。因爲火箭噴嘴在過分膨脹情況下，噴嘴近出口處內壁氣壓低於大氣壓力。如果在噴嘴近出口鑿孔裝置活門，活門開時空氣便可吸入。火箭起飛升空，大氣壓力隨高度而逐改。但如在噴嘴出口外壁近鑿孔處裝置進氣杓（*scoop*），這樣杓內的氣壓因火箭的速度而增高鑿孔外所受的氣壓，在一般情況下總比裏面高，故可不斷有空氣送入噴嘴以操縱噴氣方向。這方法用不著火箭自帶注射物，更用不著笨重的貯藏器。其與平常注射液體的方法比較，重量減輕一半以上，不過這方法只能用於第一級火箭。上級火箭（*upperstage rocket*）飛行高度太高，空氣稀薄便無能爲力。另一個附帶的優點，是可以用這噴嘴四周的鑿孔調節噴嘴的膨脹比，使適應於在地平面及高空氣壓之變化，因此增加火箭的總推力。估計在一般第一級火箭飛行軌道中，除去因進氣杓所引起的曳力，總推力仍可增加 12 %。

【第一級定理】（First order theory）

謂僅取第一項如

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} \cdots\cdots\cdots\cdots \approx \theta$$

時稱爲第一級定理。

【第一焦點】（First focal point）

詳閱“物焦點（*Object focus*）”條。

【第一種槓桿】（First lever）

詳閱“槓桿（*Lever*）”條。

【第一磁性定律】(First law of magnetism)

即同極相斥，異極相吸。

【第一檢波器】(First detector)

收音機接收的電波經過選擇或放大後，要加入變頻級改爲中頻，變頻級常稱爲第一檢波器，因爲它要檢出中頻。

【第一聲頻級】(First audio stage)

檢波管檢出聲頻後，交入第一聲頻級將聲頻電壓的振幅擴大，以便激動聲頻電力放大管。

【第二三和音】(Dominant triad)

即屬三和音。

詳閱“大三和音(*Major chord*)”條。

【第二級量子化】(Second quantization)

英國物理學家狄悅克(*Dirac*)於 1927 年將古典場分析成質點的系集，場中任何交互作用的結果，即用粒子在能態上的重行分佈表示。而場變數例如波函數或電磁位能，就認爲是某種算符，並遵循某種對易法則，於是這些算符事實上就描述光子或粒子的放射和吸收過程，這種處理古典場的方法稱爲第二級量子化。

遵循波司(*Bose*)、愛因斯坦(*Einstein*) 統計法的粒子系統，根據第二級量子化的方法，它的漢彌頓算符(*Hamiltonian operator*) H 可寫成：

$$H=\sum_{ij} H_{ij}^{(1)} a_i{}^+ a_j+\frac{1}{2}\sum_{ijkl} V_{ij,kl}^{2}\ a_i{}^+ a_j{}^+ a_k\ a_l+\cdots$$

式中 $H_{ij}^{(1)}$ 是

$$H=-\frac{\hbar^2}{2m}\ \nabla^2+V^{(1)}(\vec{r})$$

在 $|i>$，$|j>$ 兩態間的矩陣元素，$V^{(1)}(\vec{r})$ 表單獨一粒子所具有的

位能。$V^{(2)}(\vec{r})$則表兩粒子交互作用的位能，a_i^+及a_j分別爲i，j兩態的產生與毀滅算符，其遵循的對易法則爲：

$$[a_i, a_j^+] = a_i a_j^+ - a_j^+ a_i = \delta_{ij}$$

$$[a_i, a_j] = [a_i^+, a_j^+] = 0$$

遵循費米(*Fermi*)、狄悅克統計法的粒子系統，其產生與毀滅算符則遵循反對易法則：

$$\{a_i, a_j^+\} = a_i a_j^+ + a_j^+ a_i = \delta_{ij}$$

$$\{a_i, a_j\} = \{a_i^+, a_j^+\} = 0$$

根據這種方法所有古典場都可以粒子的分佈變化描述之，這種將場看成量子化的粒子分佈法又稱爲場量子化。

【第二陽極】(Second anode)

陰極射線管接正電位的一個電極稱爲第二陽極。電位長期保持固定，目的對射線起加速作用。

【第二諧波】(Second harmonic)

二倍於基本波的頻率之諧波。

【第二檢波器】(Second detector)

超外差機能將聲頻從中頻分開的一級稱爲第二檢波器。

【第二黏滯係數】(Second coefficient of viscosity)

流體主要包括氣體和液體兩種，氣體可被壓縮，而且一般來說，$\nabla\cdot\vec{v}\neq 0$；而液體在正應力之下，體積改變得非常少，體積的變率當然更可被省略掉。因此通常對液體而言，$\frac{d\rho}{dt}=0$，即$\nabla\cdot\vec{v}=0$。

在液體的場合，應變率可被寫爲

$$s_{ij} = -P\delta_{ij} + \mu\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}\right)$$

並且由於$\nabla\cdot\vec{v}=0$，故

$$P = -\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3} s_{ij} = -\frac{1}{3}(s_{11}+s_{22}+s_{33}) \qquad (1)$$

（1）式的意義是，在液體內壓力為正應力的平均值（除了一個負號以外）。

可是在氣體的場合則不然，因為一般 $\sigma=\nabla\cdot\vec{v}\neq 0$，其應變率為

$$-\sum_{i=1}^{3} s_{ii}=3P-(3\lambda+2\mu)\sigma$$

或 $$-\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3} s_{ii}=P-\left(\lambda+\frac{2}{3}\mu\right)\sigma=P+\frac{\eta}{\rho}\frac{d\rho}{dt} \qquad (2)$$

故正壓力的平均之負值並不等於熱動學的壓力。（2）式的最後的等式是利用流體的連續方程式（*equation of continuity*），而 $\eta=\lambda+\frac{2}{3}\mu$ 稱為第二黏滯係數。就實際的流體而言，η 的數值通常是很小，而容許被忽略。

【第二類超導體】（Type Ⅱ superconductor）

邁斯納效應（*Meissner effect*）只限於某些超導體，這些超導體有很明確的臨界磁場，而且其磁化曲線是完全的三角形。這也就是表示當溫度降到某一特定數值時，所有經過導體的磁通量完全被排出，這叫做理想邁斯納效應（*perfect Meissner effect*），自然界裏面還可發現有兩種元素釩（V）和鈮（Nb）及其他許多合金，它們的磁化曲線並不是線性。如圖 11－143，當外加磁場從零增加到某個數值叫 H_{c1} 時，一直是理想邁斯納效應即體內的磁感應 $B=0$。但是當磁場超過 H_{c1} 時，超導體並不馬上轉變普通的正常導體，也不會排斥所有的磁通量。經過嚴密的分析，知道磁通量在導

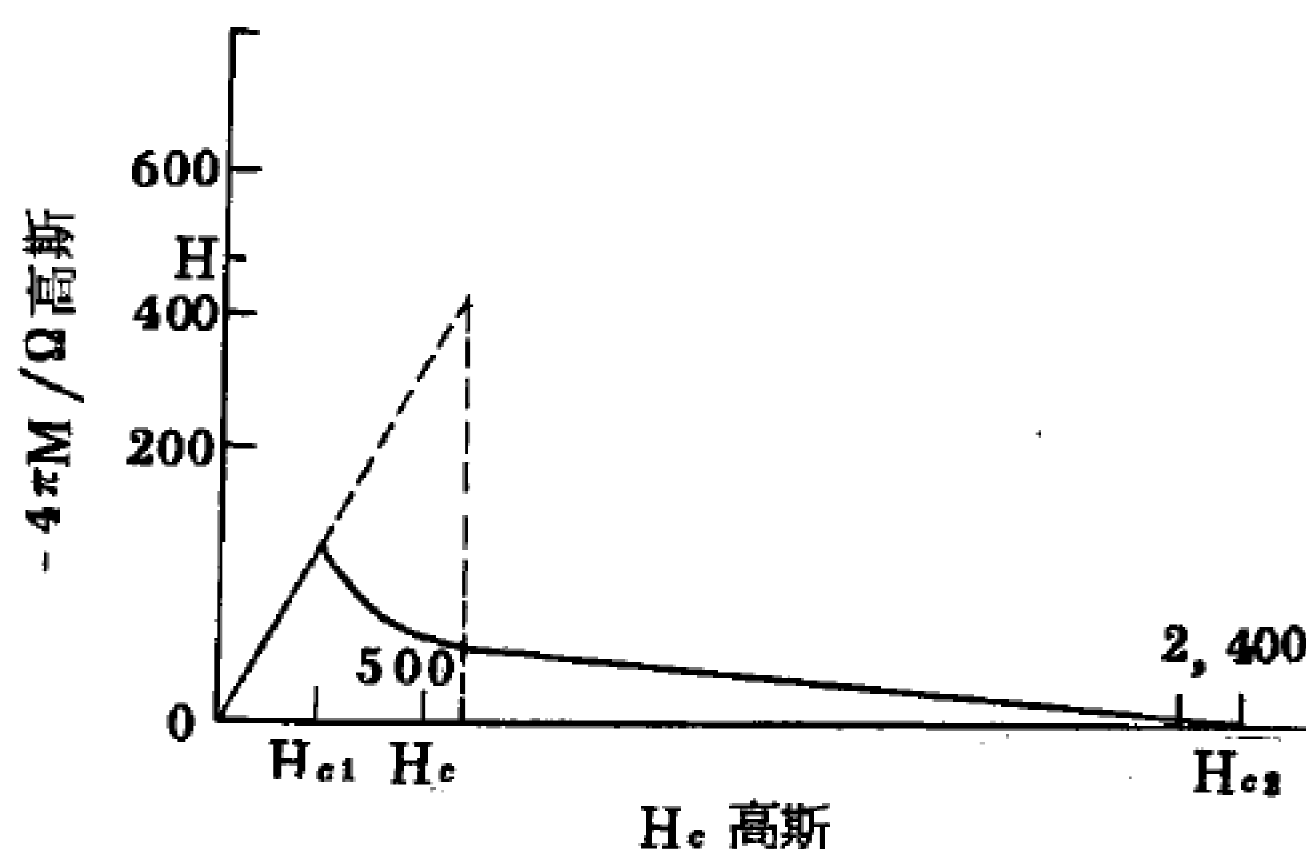


圖 11－143
針形第二類超導體的磁化曲線（含 8.23％銦的鉛合金）

體內成週期性的分佈，而B並不完全等於零，這種狀態叫做中間狀態(*intermediate state*)。這個狀態可以持續到外加磁場達到H_{c2}後，才轉變成為正常導體。可是在H_{c2}以前都同樣具有理想導電性，具有這種性質的物質就叫做第二類超導體；而具有理想邁斯納效應的物質，就叫做第一類超導體(*type* I *superconductor*)。圖 11—143 中虛線部分表示的是第一類超導體(純鉛)的磁化曲線，這兩條曲線和水平軸所夾的面積完全相等，而且下列關係永遠成立：

$$H_{c1} < H_c < H_{c2}$$

如果有辦法減低H_{c1},因為面積為固定的關係,也就相當於增加H_{c2}。經過適當的處理後，就有辦法使西爾斯比效應(*Silsbee effect*)中的磁場等於H_{c2}。亦即有辦法使超導體承受大電流而不變成正常導體而沒有焦耳消耗。

【第三三和音】(Subdominant triad)

即次屬三和音。

詳閱“大三和音(*Major chord*)”條。

【第塞夫】(Deep space instrumentation facilities; D.S.I.F.)

由一些接收站所組成的遠太空儀測設施。這些站都裝備有巨大的天線(沒有小於 85 呎直徑者)以期能接收在百萬哩外太空船送到的微弱訊號。水手和游騎兵等太空船送回金星、火星及月球的照片，就是由此系統所接收。

【笛卡爾】(Rene Descartes 1596—1650)

生於法國之拉嘿(*La Haye*)，而受教育於拉夫雷赤(*La Fleche*)之耶穌大學，在那裏他對數學、語言學及天文學顯出特殊的天才。在荷蘭過了 20 年，專心從事著作，綜他一生所得到的結論筆諸於書，這些結論大多數是關於哲學方面的。他是一個很高深的數學家，幾何學中

一部分名爲解析幾何的，即係他所發明，可謂是近代數學的鼻祖。

笛卡爾在力學上的成就，與伽立略完全獨立，對於近世力學的基礎觀念的發展，與有大力。他在1611年至1619年留荷時，即與當地學者聯合作落體運動之研究。笛卡爾除對運動之研究、解析幾何之發明外，尙有虹霓之研究、折射定律之發明、動物之機械說等，均其犖犖大著。其在哲學、數學及一般自然科學上，舉凡前人所認爲確定不移之眞理，均加以懷疑，演成一般思想界的大革命，尤爲其獨到之處。

【笛卡爾反射公式】(Descartes' reflection formula)

假定圖11－144中之*P*點爲球面波之波源，射線*PA*之反射線*AQ*，交主軸(*principal axis*)於*Q*，設$OP=p$，$OQ=q$，則射線*PA*經

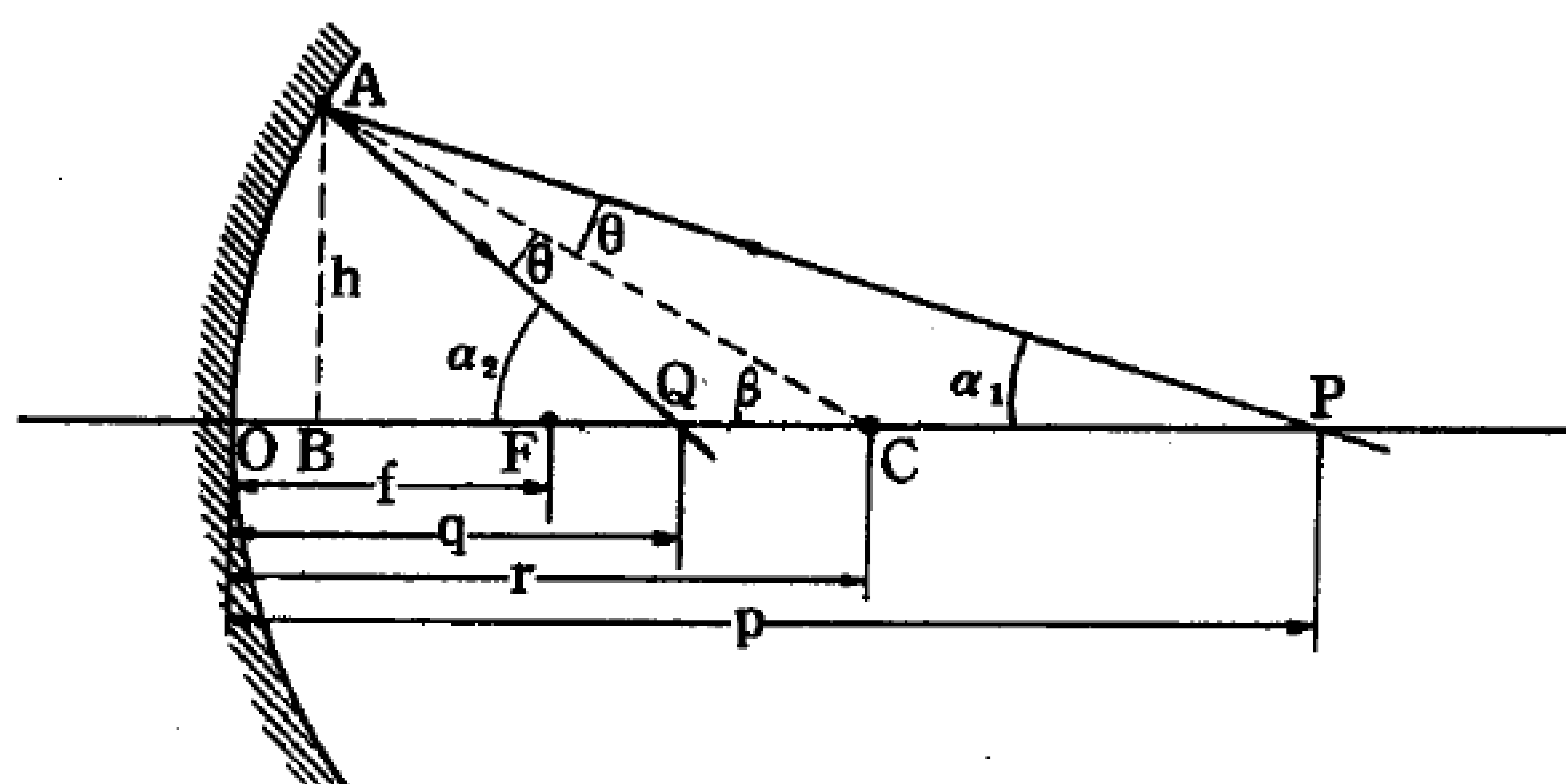


圖11－144
一射線在球表面反射之途徑

反射後成射線*AQ*，因入射角與反射角相等，由圖則得$\beta=\theta+\alpha_1$，與$\alpha_2=\beta+\theta$二式，合併此二式得

$$\alpha_1+\alpha_2=2\beta \qquad (1)$$

假設角α_1、α_2與β均甚小，即射線爲近軸者(*paraxial*)，可書其近似式：

$$\alpha_1\approx \tan\alpha_1=\frac{AB}{BP}\approx\frac{h}{p}$$

$$\alpha_2\approx \tan\alpha_2=\frac{AB}{BQ}\approx\frac{h}{q}$$

$$\beta\approx \tan\beta=\frac{AB}{BC}\approx\frac{h}{r}$$

將上三式代入（1）式中，並消去共同因子 h，即得

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{r}$$

上式即爲球表面上之笛卡爾反射公式。因在此表示式中，未提及 A 點，故可得一結論：於近似情形下，通過 P 點所有的一切射線，經球面反射後必過 Q 點，則謂 Q 爲物體 P 之像。

【笛卡爾折射公式】（Descartes' refraction formula）

如圖11—145，入射線如 PA 者折射後沿 AD 入第二介質，當 AD 之延長線向第一介質延長時，交主軸於 Q，若一切折射線通過 Q，則謂 Q 爲 P 之像。定 $OP=p$，$OQ=q$，則以 AD 爲折射線之射線 PA，從圖中可察出

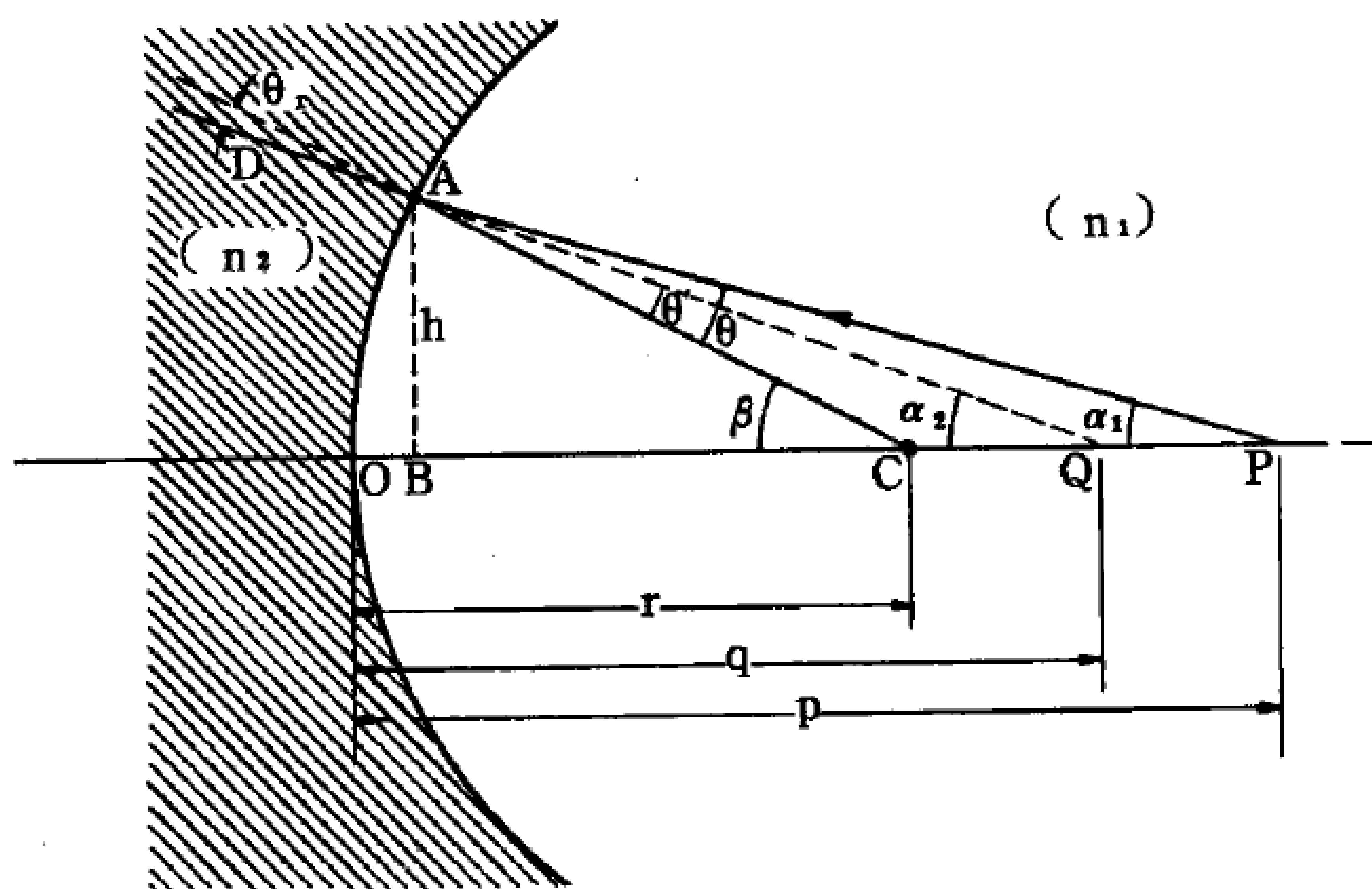


圖 11 — 145　一射線在球面折射後之途徑

$$\beta=\theta+\alpha_1 \text{ 與 } \beta=\theta'+\alpha_2$$

其次，由司乃耳定律（*Snell's law*），得 $n_1 \sin\theta=n_2 \sin\theta'$。假定射線具有一甚小的傾斜度，因此，角 θ、θ'、α_1、α_2 與 β 均甚小，可書 $\sin\theta\approx\theta$ 及 $\sin\theta'\approx\theta'$，如是司乃耳定律變爲 $n_1\theta=n_2\theta'$，或

$$n_1(\beta-\alpha_1)=n_2(\beta-\alpha_2) \qquad (1)$$

再由圖11—145，一如球面鏡之情況，可求得

$$\alpha_1 \approx \frac{n}{p} \qquad \alpha_2 \approx \frac{h}{q} \qquad \beta \approx \frac{h}{r} \tag{2}$$

將（2）式代入方程式（1）中，消去共同因子並重新排列，則得

$$\frac{n_1}{p} - \frac{n_2}{q} = \frac{n_1 - n_2}{r}$$

此式即爲球表面上之笛卡爾折射公式。

【笛卡爾浮沉子】（Descartes' diver）

拿一個開口的小瓶子或小管子，應用灌水或加上一塊重體的調整方法，使這小瓶子或小管子正好能筆直地懸置在一個裝水的圓筒裏。爲了要使管內的空氣在浸沉時不會逸散，要將開口處向下倒置，圓筒口上另用橡皮套緊（圖11—146）。用手指撳壓橡皮時，圓筒內空氣的體積便會減小，其壓力則增大。所增加的這種壓力經水傳佈，乃將少量的水驅進小管子裏面，後者之重量增加因而下沉。又如移去橡皮上的壓力時，小管子裏面稍稍壓縮了的空氣又將擠進去的水重行擠壓出來，小管子的重量變輕因而上浮。此即笛卡爾浮沉子。這種小儀器的發明，要歸功於法國大數學家及哲學家笛卡爾。

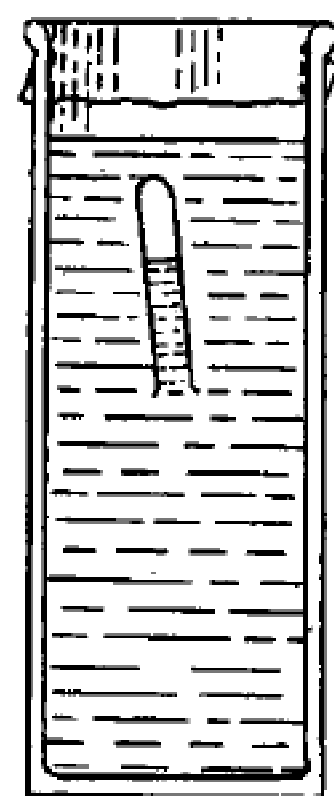


圖11—146
笛卡爾浮沉子

浮沉子沉得愈深，則水以其自身重量加在封閉空氣上的壓力也就愈大；每深下 10 米，壓力便增加 1 仟克／平方厘米。到了某一定深度時，瓶內的空氣體積被水壓力壓得如此之小，也就是有了如許的水經過瓶頸進入瓶中，使得浮沉子繼續下沉，並且即使在減除了圓筒橡皮套上的壓力以後，浮沉子再也不上升了。笛卡爾浮沉子尚可說明一些有關於液體和氣體物性的定律。如外界壓力增強時，氣體體積縮小及張力加大的定律、外界壓力降低時氣體體積增大及張力減小的定律、壓力之經由液體或氣體平均傳佈的定律以及阿基米德原理（*Archimedes principle*）等等。

就實際原理而言，現代的潛艇即爲一種笛卡爾浮沉子。利用潛艙裏的壓艙水，可以使潛艇潛沒到水面以下。潛艙裏通入壓縮空氣時，因爲壓艙水被驅出潛艇，潛艇便浮升起來。

【笛卡爾薄透鏡公式】(Descartes' thin lens formula)

如圖 11 — 147 所示，透鏡之主軸係由兩中心 C_1 與 C_2 所定之直線，設 $O_1P = p$，$O_2Q = q$，又因透鏡甚薄，可將透鏡之厚度省略，則

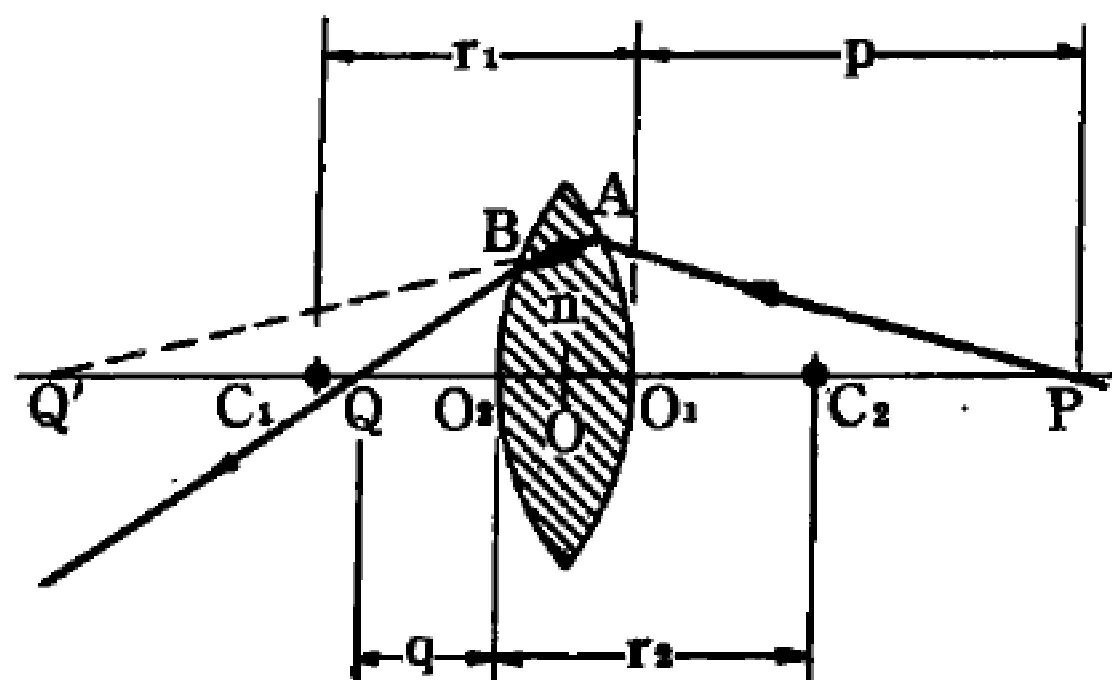


圖 11 — 147 一射線通過透鏡之途徑

$$\frac{1}{p}-\frac{1}{q}=(n-1)\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)$$

此式即稱爲笛卡爾薄透鏡公式，又稱爲笛卡爾公式。

【笛聲干擾】(Whistle interference)

接收機中的高頻或低頻電路，因自激 (*self excitation*) 關係產生振盪所造成的嘯聲。

【符合計數】(Coincidence counting)

此法是利用計數兩個或更多個同時發生或彼此有特定的時間關係之特性輻射，用來偵檢或鑑定放射材料，以及用它來校正蛻變率。此法在活化分析、醫用細察、宇宙線研究及低階測量上都很重要。

【粒】(Grain)

英制質量單位。1 *grain* = 0.0648 *g*。

【粒子】(Particle)

物質的微小組成分子，通常具有可測度的質量稱爲粒子。在放射現象中的主要粒子是 α 粒子、β 粒子、中子及質子。

參閱“基本粒子 (*Elementary particle*；*Fundamental particle*) ”條。

【粒子之直線運動】(Rectilinear motion of a particle)

在無作用力時，$x = v_0 t + x_0$，有固定力時

$$x = \frac{1}{2}\left(\frac{F_0}{m}\right) t^2 + v_0 t + x_0$$

其中 x 是運動位移，v_0 是速度，x_0 是初位移，F_0 是固定力，t 是時間。

【粒子加速器】(Particle accelerator)

爲一種加速器。

參閱“加速器(*Accelerator*)”條。

【粒子探測器】(Particle detector)

即可使粒子留下轍跡，以觀測粒子行爲的儀器。其主要包括有(1)蓋革計數器(*Geiger counter*)(2)閃爍計數器(*scintillation counter*)(3)契忍可夫計數器(*Cerenkov counter*)(4)固態探測器(*solid state detector*)(5)照相乳膠(*photographic emulsion*)(6)霧室(*cloud chamber*)(7)氣泡室(*bubble chamber*)(8)電花室(*spark chamber*)。前四種計數器的性能，是當有粒子通過時，發出一個電的脈波，這個脈波就是粒子通過的跡象。後四種儀器則能使粒子所通過的路徑留下一個轍跡。由這些粒子探測器所表現的粒子轍跡，就可量到粒子的各種性質。

【粒子貯環】(Particle storage ring)

瑞士日內瓦的歐洲核子研究所(*European Organization for Nuclear Research*)建妥世界上第一個質子貯環，造在原有的 28 *BeV* 質子加速器旁邊，將加速到 28 *BeV* 的質子利用磁鐵分成兩股射入粒子貯環內依相反方向運行，環內有八處可讓粒子對撞。這一類的加速器稱爲對撞射束加速器(*colliding beam accelerator*)，與一般加速器比較，它的優點是有效能量大，但缺點是粒子互撞的概率低。

研究高能物理需要觀察高能量的粒子撞擊靶內粒子後的反應過程。

宇宙射線（ *cosmic ray* ）內的粒子雖然有時能量高達$10^8 BeV$，可惜數目太少，而且不能用人工控制，加速器產生的粒子數目甚多，且能量和粒子種類均可控制，但最高能量還不到$500 BeV$。補救方法是設法使高能粒子正面互撞，因爲根據相對論（ *relativity theory* ），兩個能量爲E的粒子對撞時所產生的反應過程相當於一個能量爲（$2E^2 - M^2$）/M（M爲粒子質量）的粒子撞擊另一個靜止的粒子。例如有個28 BeV的質子對撞的效果相當於一座1,500BeV的質子加速器的效果。

【粒間破裂】（ Intergranular crack ）

假使裂痕起源於晶粒境界之線缺陷，而它的擴大是沿著晶粒境界，那麽由這種裂痕而導致之破裂謂之粒間破裂。

【粗控棒】（ Shim rod ）

一種用於大量調節反應率的控制棒，它在反應器起動或停止時使用。

參閱“控制桿（ *Control rod* ）”條。

【絃之振動】（ Vibration of string ）

詳閱“絃音計（ *Sonometer* ）”條。

【絃音計】（ Sonometer ）

絃當其振動時恆成波形，各區之界限靜止而不振動，波形毫不前進而成駐波（ *stationary wave* ），相鄰二節點間之中央振動最激烈稱爲波腹。

緊張絃兩端固定，使之橫向振動產生駐波時，其頻率與絃長的關係爲：

$$\upsilon_n = \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad n = 1, 2, 3, \cdots\cdots$$

式中υ_n爲第n個振動模式的頻率，l爲絃長，T爲絃的張力，m爲線密度。絃音計即用以證明此關係式，或比較各種音符的音調。

絃音計的構造如圖11—148，有一金屬線（常用鋼琴之絃），一端跨過滑輪，下懸砝碼，使絃受張力，再跨過兩絃馬（ *bridge* ）使絃

緊張，一絃馬可移動以改變絃的振動長度。絃和絃馬均置於共鳴板上，以增加音量，大多數絃樂器均用共鳴板，此板有一空盒，

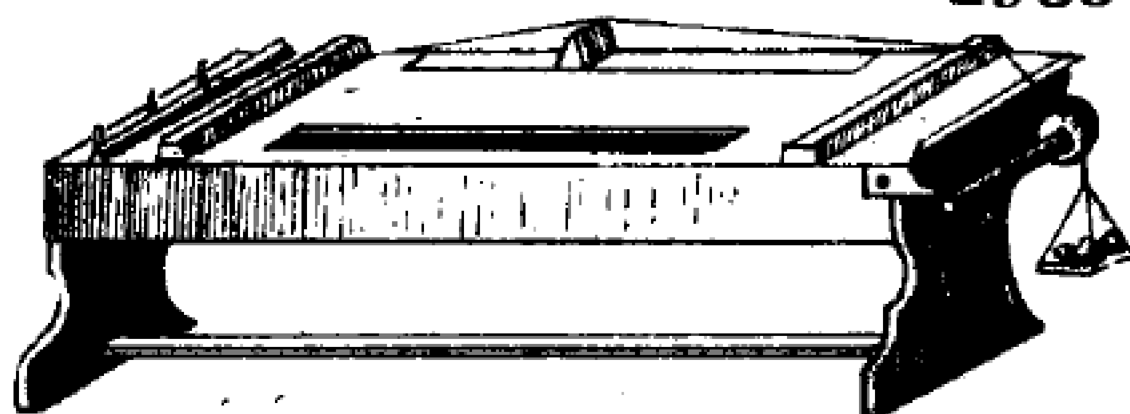


圖 11 — 148

因絃之振動而使盒中空氣隨之振動，以撥彈、敲擊、弓拉或電磁方法使絃振動，絃音計上常裝有另一絃線，其長度和張力均為一定，以供比較時用作標準頻率。有兩種方法調諧絃線：一是使兩絃同時發音，調整絃長至拍音消失為止，則兩絃頻率相同。另法利用共鳴原理，使標準絃單獨發音，調整另絃長度，共振時另絃振動極烈，若在此絃上放置薄紙片，會被震落。亦有用音叉發音，調整絃的長度或張力，至絃上紙片震落，即知已達共鳴狀態，其振動頻率與音叉頻率相同。

【絃樂器】(String instrument)

利用緊張絃振動發音的樂器，稱為絃樂器。音調的高低，隨絃的粗細、長短及張力大小而定。胡琴、琵琶、鋼琴、提琴等都是絃樂器。例如，胡琴有粗細兩絃，音長短可用手指調節；張力可用絃軸調節。

通常絃樂器裝有空箱(或空筒)，以加強所發的聲音。絃樂器的絃振動時，其空箱的空氣柱隨之振動。因為絃的振動頻率與空氣柱的頻率相同，所以可使聲音加強，這種作用稱為共鳴(*resonance*)或共振。鼓的下面作圓筒形，也是利用空氣柱發生共鳴。

參閱“絃音計(*Sonometer*)”條。

【統一場論】(Unified field theory)

這是很奇怪的，由牛頓開始和愛因斯坦完成的重力理論，現在會被巍然的孤立著。統一場論是希望能將重力場和電磁場合併為一較大的基本定律，以統一的形式理論概括不同性質的場。廣義相對論將重力場化成時空連續的幾何性質，因為電磁場在技術上無法做到幾何化的過程，因此希望統一場論能完成這項任務。

統一場論努力的方向是將重力場和電磁力場放在可以聯繫二者的更大範疇內，以說明場的方程式，在數學上更推廣到非瑞曼幾何的形態，而重力場和電磁則分別爲此統一場的特殊形式。

愛因斯坦在完成廣義相對論後的數十年之間，致力於統一場論的發展，但是距離完整的結果仍有一段距離。現在重力和電磁力間的眞正關係，似乎只有從對基本質點的瞭解和研求自然界中爲什麽會有這些具有各種質量和電荷的質點來尋求。

【統計力學】(Statistical mechanics)

當研究含有一小數目質點之系統時，如我們的行星系或一原子帶幾個電子則比較簡單；但當質點的數目很多時，如含有許多電子之原子或含有數十億分子之氣體（一立方米之氣體，在 *S.T.P.* 狀況下有 3×10^{19}個分子），則問題就難以正確處理，則必須使用某些統計方法以計算動力數量而捨去系統中各質點之個別正確量。另外，對這些複雜的系統，所注重者爲系統整體之擧止，而非其各個組成分子之擧止（因一般該擧止無法觀測）。處理這些系統的數學技巧即構成了所謂的統計力學。

統計力學的目標是要從分子動力學上的定律導出一系統所有的巨觀（ *macroscopic* ）平衡性質。它不但導出熱力學的一般定律，同時可計算出一系統的各種熱力學函數（ *thermodynamic function* ）。古典統計力學的基本假設爲“等先驗機率假設”（ *postulate of equal a priori probability* ）：即一平衡中的巨觀系統，其所有滿足巨觀條件的微觀（ *microscopic* ）狀態都會均等出現。在量子統計力學另外還有無規相假設（ *postulate of random phase* ）。

【統計力學求熵之方法】(Statistical method of entropy)

$$S = R\,lnZ - R\,\frac{\partial(\,lnZ\,)}{\partial(\,ln\beta\,)}$$

其中 S 爲熵，R 爲氣體常數，Z 爲配分常數，$\beta=\frac{1}{kT}$，k 爲波茲曼常

數，T 爲絕對溫度。

【統計平衡】(Statistical equilibrium)

設有一系統，包含一甚多數目 N 之質點，每個質點可在幾個可能狀態下具能量 E_1，E_2，E_3，……，視系統之性質而定。這些每個質點可達之狀態的性質及數目視所考慮之系統特性而定，將氣體狀態認爲可能相當於分子之移動、轉動及振動，在某一特殊時間，質點處於不同之狀態，故 n_1 個質點具能量 E_1；n_2 個質點具能量 E_2 等等。則稱數目 n_1，n_2，n_3……，構成一配分（ *partition* ），質點之總數爲

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + \cdots\cdots = \sum_i n_i$$

並假設不論系統發生任何過程，其均保持不變，系統之總能爲

$$U = n_1 E_1 + n_2 E_2 + n_3 E_3 + \cdots\cdots = \sum n_i E_i$$

若系統爲孤立，總能 U 必爲常數；然而其彼此交互作用及碰撞之結果，處於可達能量狀態之質點分佈可能改變。例如，一氣體中一快速分子可能與一緩慢者相撞；碰撞後快速分子可能慢下來而緩慢者可能加快，或者一激發原子可與另一原子作非彈性碰撞，同時激發能轉變成二者之動能；因此，在所舉之二例中，碰撞後之質點處於不同狀態。換言之，數目 n_1，n_2，n_3…… 可能改變，此數目乃爲在可達能量狀態下構成 N 質點之一配分（或分佈）。對一質點系之每一巨觀（ *macroscopic* ）狀態，假設有一配分比其他配分更爲有利是合理的。換言之，若已知質點系之物理條件（此即質點的數目、總能以及各個質點的結構），則可以說有一最可能之配分，當已達到這配分時，系統就稱爲在統計平衡狀態。

【統計系集】(Statistical ensemble)

若有許多與被測量的物系相似的物系，使每一物系皆在不同的可達狀態，則這一群物系所表現出的常觀物理量的值皆在可測量的小範圍以內，這一群相似的物系稱爲被測量物系之統計系集。

【統計詮釋】(Statistical interpretation)

對波函數（ *wave function* ）$\psi(\vec{r},t)$ 的統計詮釋是：$|\psi(\vec{r},t)|^2 dV$ 爲粒子出現在 $\vec{r}$ 處的或然率。詳細地說，如果我們對相同狀態的物理系統作 N 次相同的測量，則其出現在 $\vec{r}$ 的或然率爲 $|\psi(\vec{r},t)|^2$，如果 N 幾近於無限大，而位置包括整個空間時，則或然率應爲 1，也就是 $|\psi(\vec{r},t)|^2 dV$ 對整個空間的積分爲 1，這就是物質二象性的解釋，一粒子仍然以粒子爲單位；波函數的分佈並非表示粒子散裂，也並非儀器不夠精良，無法測準一粒子的位置，而是由或然率的統計解釋說明波的粒子性。

量子學說（ *quantum theory* ）的起源，是因爲古典學說對微觀（ *microscopic* ）範圍與實驗事實有兩項重大的不符合。第一是作用的量子化（ *quantization* ），即一物理系統的改變及許多物理系統間的交互作用，呈現有不連續的現象，此現象在古典學說中無法獲得圓滿的說明，第二是波（ *wave* ）與粒子（ *particle* ）的二象性（ *dual property* ），如在黑體輻射（ *black body radiation* ）中的浦朗克量子，在光電效應中的愛因斯坦關係式等，此外德布洛利（ *De Broglie* ）的物質波（ *material wave* ）假設也說明此二象性。

這兩種矛盾在量子力學（ *Quantum mechanics* ）中有合理的解決。量子力學先仿照古典力學形式，預測物質的波動方程式，此方程式的解就是波函數，可是連帶著也發生了困難，也就是對波動函數的物理意義和能量的波動變化在觀念上有了困難。因此，才有波動函數這種革命性的解釋，就是我們所稱的“統計的解釋”，而以上的兩項矛盾亦由此完全解決。舉例來說，設 $\psi(\vec{r},t)$ 是薛丁格方程式的一個有意義的解，則上述的第一項矛盾，在解薛丁格方程式時，就自然會產生這種不連續現象，而獲得圓滿的結果。而第二種矛盾，則須對波動函數 $\psi(\vec{r},t)$ 作“統計詮釋”才能獲得解決。

【統計熱力學】（ **Statistical thermodynamics** ）

根據物理學史的發展，熱力學的四個定律是在物質的原子理論成立之前即已經有的假設，它們純粹是巨觀（*macroscopic*）性的理論，所以與討論的系統內部原子的構造無關。若此四定律再加上統計關係

$$P \propto exp(S/k)$$

則能將巨觀系統描繪得更完盡，依此而對熱力系統加以討論的學問是爲統計熱力學。

參閱"熱力學統計關係（*Statistical relation of thermodynamics*）"條。

【統計整理】（Statistical arrangement）

完成了測量過程後，還需要把結果加以整理，這是一個重要的步驟。整理的方法，是製成統計圖表。研究統計圖表的結果，除了瞭解數量的變動狀況和估計研究對象的趨勢外，有時候尙能整理出有關研究項目的定律來。此謂之統計整理。

【統計獨立】（Statistical independence）

若有兩事件，其中任一事件的發生與否，並不影響另一事件的發生，則稱此兩事件爲統計獨立。設A事件單獨發生的或然率爲P_A，B事件單獨發生的或然率爲P_B，則在有統計獨立的情況時，同時發生A及B兩事件的或然率爲$P_{AB}=P_A P_B$。在非統計獨立的情況時，此式並不適用。推而廣之，可得N個具有統計獨立的事件，其同時發生的或然率爲

$$P_{12\ldots N}=P_1 P_2 \cdots\cdots P_N$$

【統計權重】（Statistical weight）

對物理量考究其統計性質時，對此量的每值或值的範圍定予統計權重，以表示此值或值的範圍出現的次數。例如在統計力學（*Statistical mechanics*）中，對應於一巨觀（*macroscopic*）態中微觀（*microscopic*）態的數目即是統計權重。

【組合頻率】（Combination frequency）

兩個或多個交流成分在非線性電路內互相混合而得之振盪，其頻率爲相混合振盪頻率的簡單組合。產生組合頻率最簡單的情況就是在混頻器內獲得中頻（*intermediate frequency*）。

中頻 f 等於兩個相混合振盪的頻率 f_1 和 f_2 的差值。不過在混頻器內或在任何非線性電路內，當頻率爲 f_1 與 f_2 的振盪互相混合時，還能發生其他的組合頻率，如 f_1+f_2、$2f_1+f_2$、f_1-2f_2 等等。

具有非線性幅度特性曲線的低頻放大器內出現組合頻率（合音），是聲音傳送時發生失眞（*distortion*）的原因之一。

【組合顯微鏡】（Compound microscope）

組合顯微鏡之放大率爲

$$\frac{\text{用儀器所見之物像虛角}}{\text{用肉眼所見之物標虛角}}=\frac{h\times g/(f_0\times f_V)}{(h/D_V)}=\frac{g\times D_V}{f_0\times f_e}$$

顯微鏡之總放大率可表示爲初次放大率乘以目鏡之度數。一標準的 160毫米的光管爲一般所通用，右表所載爲對於一物鏡範圍正常的初次放大率。可瞭解對於前述所得總放大率之各值均爲正常值，且可用於大多數的觀察工作。但更精確的數值，例如在測定若干物標之正確的大小，則必須同時測定其初次放大率及直接的總放大率。

物鏡之焦距	初次放大率
2″ or 50 mm	3.2
1″ or 25 mm	6.4
$\frac{2}{3}$″ or 16 mm	10
$\frac{1}{3}$″ or 8 mm	20
$\frac{1}{6}$″ or 4 mm	40
$\frac{1}{12}$″ or 2 mm	80

【組態交互作用】（Configuration interaction）

計算分子的能量，需視電子運行於某些假設軌道上而定。爲增進計算的精確度起見，必須將分子諸激發組態波函數之間的混合加以考慮。各組態間對漢彌頓算符（*Hamiltonian operator*）之矩陣素（*ele-*

ment of matrix ）決定組態交互作用的程度，影響組態間作用最主要的因素爲電子間的拒斥作用。

【細菌電池】（ Bacterial cell ）

利用海藻類植物的光合作用（ *photosynthesis* ），靠日光及碳循環的功能，以海藻中的細菌爲媒介，使海藻和糖發生作用，糖分子的分解在一電極上可產生二氧化碳、水與電流，稱爲細菌電池。

此種利用細菌或其他簡單的有機物質以產生化學作用，取得電能的方法，是科學上的嶄新發明。有時挑選某種靠硫酸鹽爲生存資料的細菌，作爲海水與某種金屬間的媒介，使金屬分解而產生電池，其能量足供燈光源或海上浮漂之用。其應用非常廣泛。

【細調棒】（ Regulating rod ）

一種能將反應率做細微調節的控制棒。

【終產物】（ End product ）

詳閱“放射系（ *Radioactive series* ）”條。

【終端夾】（ Terminal clamp ）

一個金屬夾子，作終端接線用者。

【終端速度】（ Terminal velocity ）

一球體在黏性流體（ *viscous fluid* ）中下落時，因浮力（ *buoyancy* ）關係加速度 a_0 爲

$$a_0 = g - \frac{B}{m} = g\,\frac{\rho - \rho_0}{\rho}$$

式中 B 爲浮力，ρ 爲球體密度，ρ_0 爲流體密度。由於此加速度，球有向下的速度。但此外又受一減速力，即司托克士定律（ *Stokes law* ）所示之力 $6\pi\eta rv$（ η 爲流體黏性係數，r 爲球體半徑，v 爲球體對流體之相對速度）。下落速度繼續增加，速度的減少與之成正比。所以，終於到達某一程度。此時向下作用的力正和減速力相等，球乃不再加速

，而以一定速度下落，此速度稱爲終端速度。此速度可以令向下作用的力等於減速力而求之：

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g + 6\pi\eta r v$$

故 $v = \frac{2}{9}\frac{r^2 g}{\eta}(\rho - \rho_0)$

在運動速度不太大並不足以發生擾流的情況下，這公式方適用。

對不同之初速度來說，速度隨時間之變化關係如圖11—149所示。

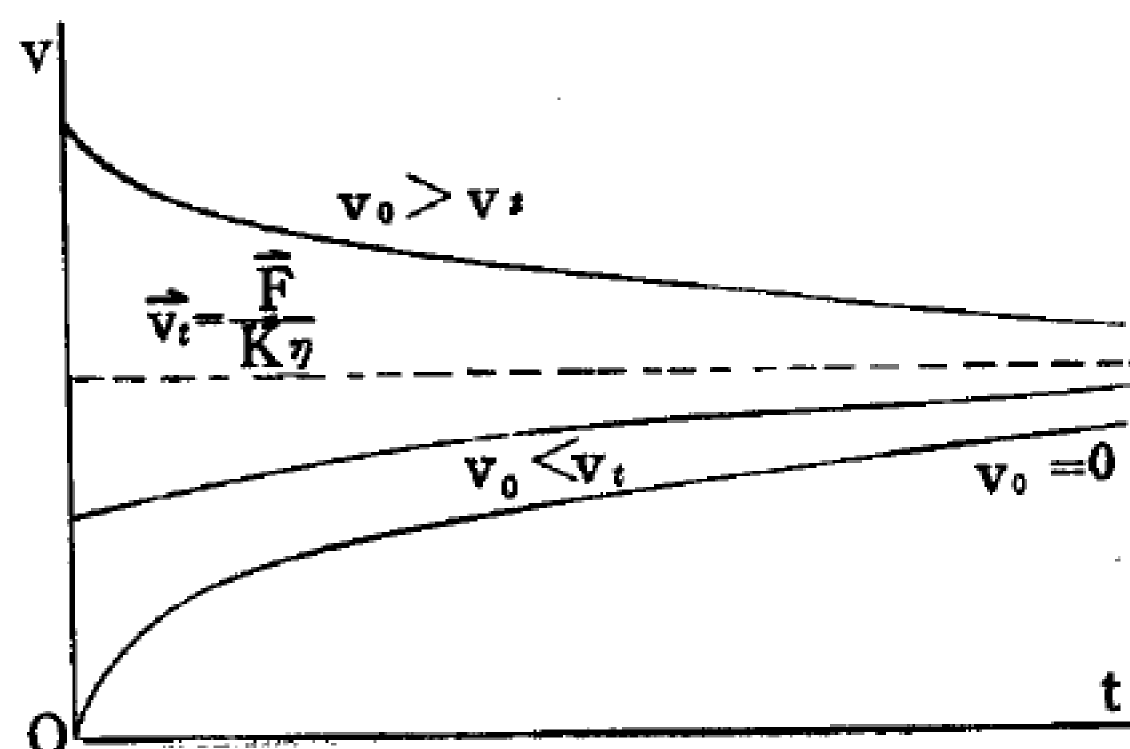


圖 11 — 149

在有黏滯性之流體中下落之物體，其速度對時間之函數關係

【終端電壓】(Terminal voltage)

通路時電源兩極間的電位差，稱爲終端電壓。若外阻爲 R，則終端電壓爲 IR。由此可知，外阻愈大，則終端電壓愈大。若爲斷路時，電流爲 0，則其電位差爲其終端電壓。

【紫外線】(Ultraviolet ray)

紫外線的範圍從 3.8×10^{-7} 米到 6×10^{-10} 米左右，頻率從 8×10^{14} 赫茲到 3×10^{17} 赫茲左右。在太陽光譜中的紫色光外側，爲波長短而眼睛看不見的光，因其化學作用很強，又稱爲化學線。太陽是產生紫外線輻射之主要輻射源，紫外線可使高空大氣中的氧 (O_2) 分子解離 (*dissociation*) 成自由氧原子，自由氧原子在離地 120公里以下之高空中又與氧 (O_2) 分子結合成“臭氧”(O_3) 層。臭氧層可大量吸收 2,900 Å 以下之高頻紫外線，使地球上生物的生命免受致命的紫外線射擊。在高層大氣中，能量 9 ～ 16 電子伏特的紫外線使氣體游離成電離層 (*ionosphere*)。

紫外光比可見光更具有能量，因之也更容易引起化學變化。例如其容易使照相底片感光，或使種種東西變色。沖洗相片時要用紅色燈泡，就是要防止紫外線。又窗簾會變色，也是紫外線的緣故。在空氣清鮮的高山或海岸，因紫外線特別強，所以容易引起日曬。

紫外線的殺菌作用很強，尤其對結核菌或傷寒菌等，日光消毒力很有效。紫外線能夠消毒殺菌，因爲它是分子中原子內部因電子的振動產生力量，這種力量非常強大，所以能殺死各種細菌。近來有裝殺菌燈的電冰箱出售，就是利用紫外線的殺菌作用的設備。

紫外線還會分解某些類固醇分子（*steroid molecules*）以形成維他命*D*（*vitamin D*）。紫外線照射到人體時，人體內會產生維他命*D*。但如果照得太多，對身體反而不好。

紫外線容易被吸收、散射，例如普通的玻璃會吸收紫外線，並幾乎全部吸收。紫外線通過特定氣體時可產生強烈的散射性"螢光"（*fluorescence*），對馬路照明獲益甚大，因大多數氣體由正常狀態轉變至最低受激狀態而放電時，所產生之最強光譜線即在紫外區。汞汽與鈉汽常爲強光燈泡所利用，前者發白光，後者發黃光。日光燈則爲"燐光"（*phosphorescence*），燐光有"後光"（*afterglow*）性即持續性，爲電視映像管等顯影幕所必須。

紫外線之效應，在工程技術與醫藥方面用途很廣。其應用於洗濯物漂白方面的作用，乃是衆所週知之事；但此種漂白作用，同時也能使衣物褪色。藉助於此等作用，我們常可判明錢幣與繪畫，尤其是糧食的眞僞與摻假。

【紫外線顯微鏡】（Ultraviolet microscope）

有關顯微鏡物鏡鑑別率之公式（$0.61\lambda/N.A.$），指陳更精密的細節應由增加透鏡之鏡徑數字（*N.A.*）或由減少所用光線之波長而得。因鏡徑數字已達最大的極限，故鑑別率之增加僅可應用較短波長之一途

，因此在顯微鏡方法中使用紫外線部分的光譜線。但在用紫外線照明時與工作同等重要的物標之各種型式會發生不同的吸收及反射效果，而在物像中產生的反襯爲他處所未有的。此乃一種特別有用的顯微鏡法的景象，雖然也許並不全然有價值，尤有進者並不限於高鑑別率的工作，但用於低鑑別率工作亦同樣有優點。縱使在紫外線中略施小技，此等效果亦可顯現出來，且在若干工作中使用一波長（如 3,650 Å）便有助益，此等光波仍能穿過普通玻璃而未被吸收，此類儀器如圖 11 — 150 所示，十分有用，掩蔽良好之水銀弧光燈 M 用做光源，其物像被一聚光鏡 C 在顯微鏡之照明鏡底臺上形成，一般裝置與其他顯微照相相同，用水銀綠色或紫色濾鏡在照明光柱中，使物標已聚焦後，一塊紫外光（*wood U. V.*）玻璃（約 $\frac{3}{8}''$ 厚）可取代其中之一種。此種玻璃在波長 3,650 Å 時有一最大透射（*transmission*）且除去剩餘的可見光，則紫外部分的光譜線幾占全部。

欲聚焦紫外線物像於感光片平面中，玻璃座屏可用不透光螢光屏取代之，且後者可用一觀察窗 O 在其前方觀看之。在此屏之照明程度可使顯微鏡足以聚焦其物像，

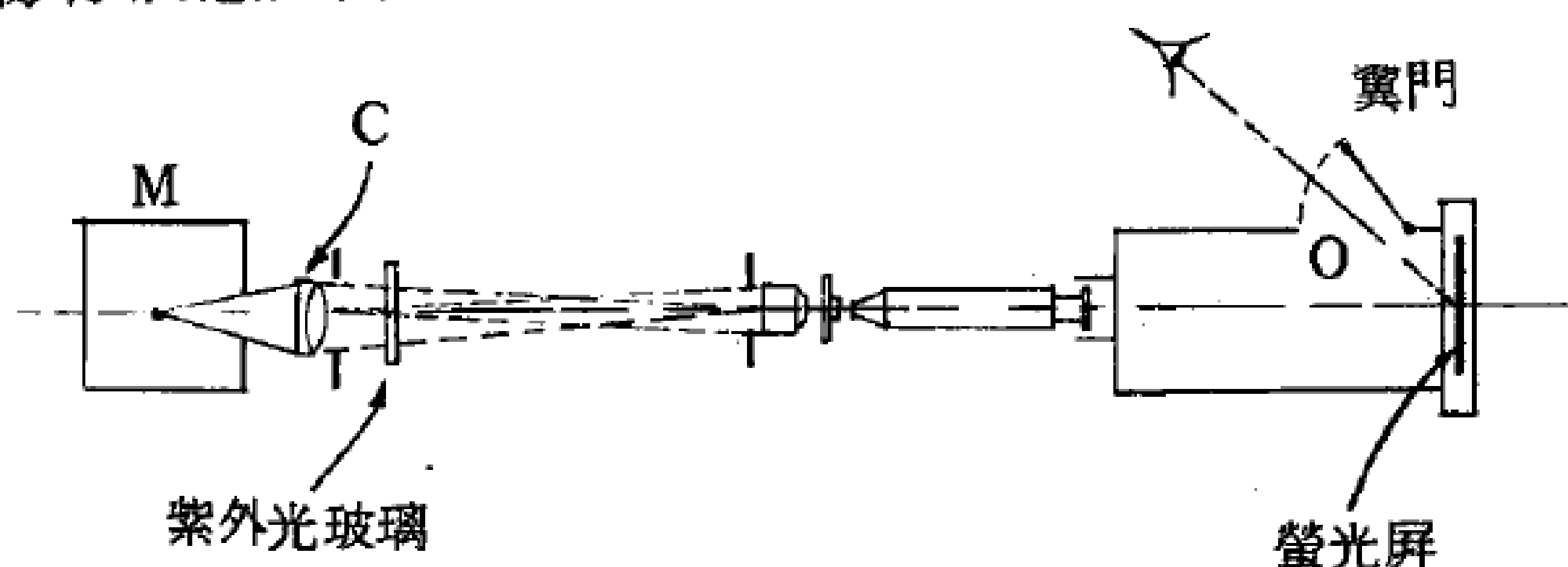


圖 11 — 150　用波長 3,650 Å 之紫外線顯微鏡之設備

有若干照相乃在一感光片仔細調節運動至相當於每次物鏡焦點之深度之一半時所攝取者。如此操作能使常用的玻璃物鏡的範圍亦可使用，無論對加拿大樹膠（*Canada balsam*）或乳劑液體，在此波長時吸收甚多，且用此等透鏡在此波長時可能導致若干輕微程度的球面色差，但尚不致十分紊亂其功能。

若干種生物樣品亦可做爲物標。用可見光照相，再以紫外線（3,650

Å ）另照一張。在兩張中吸收情形及反襯效果普通均十分明顯。

【紫外輻射】（ Ultraviolet radiation ）

爲一種看不見之電磁輻射，在可見光光譜紫端以外，波長範圍大約爲 4,000～400 Å 。

【累積中子通量】（ Integrated neutron flux ）

累積中子通量之定義爲：中子通量乘以時間，以 nvt 表示，其中 n 爲每立方厘米所含的中子數，v 爲中子速度（以厘米／秒表示），t 爲所經歷的時間（以秒表示）。因此累積中子通量代表一立方厘米內的中子經過 t 秒鐘後所走的總路徑。

【累積效應】（ Cumulative effect ）

如利用柵漏電阻電容的每週累積作用，可以取得 C 類放大的較大偏壓值，稱爲累積效應。

【累積電路】（ Integrated circuit ）

即積體線路。

參閱“積體線路（ *Integrated circuit* ）”條。

【脫離能】（ Escape energy ）

將衞星發射至無窮遠而不剩下任何能量，所需之能量稱爲脫離能。一質量爲 m 之人造衞星在地球表面時之重力位能爲：

$$U_r = -\frac{GMm}{r_e}$$

上式中 r_e 爲地球之半徑。欲將此人造衞星發射至無窮遠而不剩下任何能量，故其所需之初動能爲

$$E_k = +\frac{GMm}{r_e}$$

上式所表示之動能即爲使衞星脫離地球重力場之最小動能，稱爲此衞星之脫離能。由上式亦可知脫離能與衞星之質量成正比。

【脫離速度】（ Escape velocity ）

使火箭或衞星脫離地球所需之最小速度稱爲脫離速度。設欲使火箭脫離地球之初速度爲 v_e(即脫離速度)，則其動能等於脫離動能，即

$$E_k = \frac{GMm}{r_e} = \frac{1}{2}mv_e^2$$

由上式得脫離速度

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r_e}}$$

唯須注意者：脫離速度與其物體之質量無關，而加速一物體使它達到脫離速度所需之衝力，係依據其物體之質量。此即爲何較重的飛彈與衞星需要更強大的推進器之理。

一質點以脫離速度自地球發射，當它到達無窮遠時，其速度將爲0。若以較脫離速度爲大的速度發射，質點至無窮遠時，還有若干速度剩餘。若發射時速度小於脫離速度，質點將會落回地球，除非它被推進火箭的繼替節，改變速度方向，安置於束縛軌道上。

在決定氣體從大氣中脫離時，脫離速度的觀念亦很有用。若假定組成大氣之各氣體，係處於一熱平衡情況下，則其分子的均方根速度(*rms velocity*)可定義如下：

$$v_{rms} = \sqrt{3kT/m}$$

於平均溫度下，大氣中已發現的各種氣體，其均方根速度爲：氫1,908 ms^{-1}、氧 $477ms^{-1}$、二氧化碳 $407ms^{-1}$、氦 $1,350ms^{-1}$、氮 $510ms^{-1}$。綜觀上列數據，即可看出在所有情況中，v_{rms} 較之脫離速度甚小，因此可得一結論，即無任何氣體分子能夠克服重力吸引而脫離地球。但是這將是一錯誤的結論。

均方根速度 v_{rms} 爲一平均速度，意即許多分子能以較 v_{rms} 爲大，或以較 v_{rms} 爲小的速度運行。縱使 v_{rms} 較脫離速度爲小，某些數量的分子仍以較脫離速度爲大，或與脫離速度相等之速度運行，這些分子可能從地球脫離，尤其是位在大氣上層者。由上列數據可見，對於較輕的氣體

，此效應較之於較重的氣體更為重要。此即為何地球大氣層中，氫、氦含量相當稀少之一理由。曾經有人估計，由於重力效應，氫氣約以每秒 1.3×10^{22} 個原子（等於每年600 公斤）之速率從地球上脫離。當然這並不能代表，從地球大氣層中所失去的氫氣總數，因尚有其他過程，淨損失可能不同於此數。

至於水星脫離速度較地球甚小，水星或許已經完全散失它所有的大氣。月球之情形跟水星一樣，金星上的脫離速度幾乎與地球上之脫離速度相同。火星上的脫離速度為地球的 $\frac{1}{6}$，因此，它還保留一些大氣，而失去它的大部分大氣，的確火星上的大氣較地球上更少。至於其他行星的脫離速度較之地球為大，故它們仍然保留著它們原有大氣的大部分。然而還有其他理由，故那些行星上的大氣組成與地球上不同。

【船頭波】（ **Bow wave** ）

船隻在流體中行駛時，所生的波有兩種型式，即發散波（ *divergent wave* ）和橫波（ *transverse wave* ）。發散波（如圖 11 — 151 中 D ）在船的兩側，波峯線的長度較短，沿兩外緣線依次排列，每波峯線位於前波峯線之後。在以中心線對稱的兩發散波之間生成橫波（如圖 11 — 151 中 T ），在船附近波峯線與運動方向垂直，離船身較遠處則向後彎曲，至與發散波相交。在水中船頭波的兩外緣線與運動方向之角各為 19°18′，是一定值，與船行速度無關。

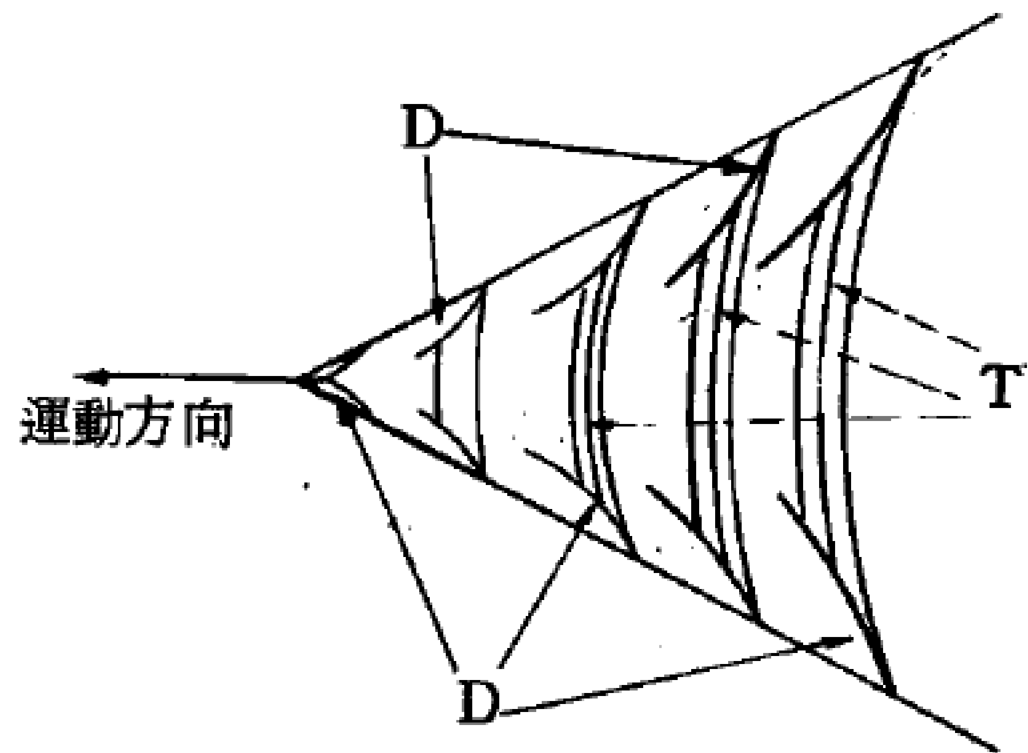


圖 11 — 151

【莫士包】（ **Rudolf L. Mössbauer** 1929- ）

德國物理學家，生於慕尼黑， 1957 年獲慕尼黑大學博士學位。當他在準備博士論文做實驗時，發現原子核中 γ 射線的無反衝共振吸收（

resonance absorption ）現象，即莫士包效應（*Mössbauer effect* ）。利用此效應可以準確量度因重力作用而生的頻率（或波長）移動。莫士包在 1958 年發表此效應，至 1959 年底才引起注意而掀起一陣熱潮。莫士包因此與霍夫士塔脫（*Robert L. Hofstadter*）合得 1961 年諾貝爾物理學獎。

【莫士包效應】（**Mössbauer effect**）

當原子核（*nucleus*）由受激態衰變（*decay*）至基態時，即放射光子，同一原子核可共振地吸收此光子，使由基態升至受激態。此過程稱爲原子核共振吸收（*resonance absorption*），或稱爲原子核螢光（*nuclear fluorescence*），指共振吸收的原子核再衰變時放出光子的過程。實際上由於共振吸收及放出光子的能量寬度很狹（能寬 $\Gamma = 10^{-6} - 10^{-8} eV$），而原子核放射或吸收光子時受光子的反衝而失去之能量較大（約 $10^{-2} eV$），因此就是同種原子核放出的光子亦無法使光子的能量剛好等於共振吸收的條件。1958 年莫士包發現有時原子核本身不受反衝的影響，而由原子核所在的晶體全部承擔反衝，此時原子核（無反衝）所放出的光子能量恰等於無反衝共振吸收所需的能量，故能產生共振吸收的現象。這種無反衝共振吸收及放射（*recoilless absorption and emission*）的現象，稱之爲莫士包效應。

原子核的能階是由原子核內部核子的相互作用而決定，但是原子核外圍的電子、鄰近的原子以及晶體構造等亦可影響原子核能階的高低，這種作用影響能階很細微，約相當能階的 $10^{-10} - 10^{-12}$ 程度，因此稱之爲超精細作用（*hyperfine interaction*）。由於莫士包效應的共振帶寬也很細，此能量的程度也可利用都卜勒效應（*Doppler effect*）改變之（所需光子源和共振吸收體間的速度約爲 10 － 0.01厘米／秒），因此莫士包效應成爲研究超精細作用的好方法，也是探測原子的電子構造（即化學結合及固態物理性質）之一種方法。

【莫司位能】(Morse potential)

雙原子分子的振動位能與二原子間的距離有關，美國發明家莫司(*Samuel Finley Breese Morse*)提出下列近似的方程式：

$$U(r)=D\left[1-e^{-a(r-r_0)}\right]^2$$

式中位能$U(r)$是二原子間的距離r的函數，位能最低點($U=0$)的距離爲r_0，即平衡距離，D是分子的解離能(*dissociation energy*)；a是常數，與其振動力常數有關。莫司曲線相當準確地表現分子振動位能的特性，即在$r\to\infty$時位能趨近於一常數，$r\to 0$時位能急速升高，而在平衡位置r_0時有極小值，表示穩定的分子狀態。以莫司位能可解出分子振動的能階，與光譜學實驗結果大致相符。

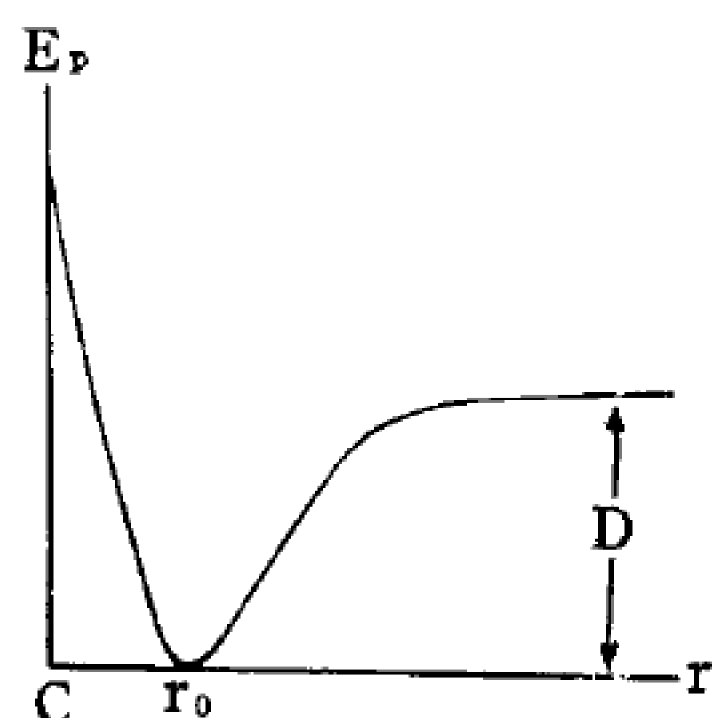


圖 11－152

【莫司發聲器】(Morse sounder)

一種發出長短音之信號工具稱爲莫司發聲器。

【莫司電報機】(Morse telegraph)

莫司電報機(如圖11－153)，是美國發明家莫司(*S.Morse*)在1837年設計成功的通訊裝置，其主要部分在原理上與電鈴相同；故只須將電鈴的結構稍加改造，即可使之變成莫司電報機。

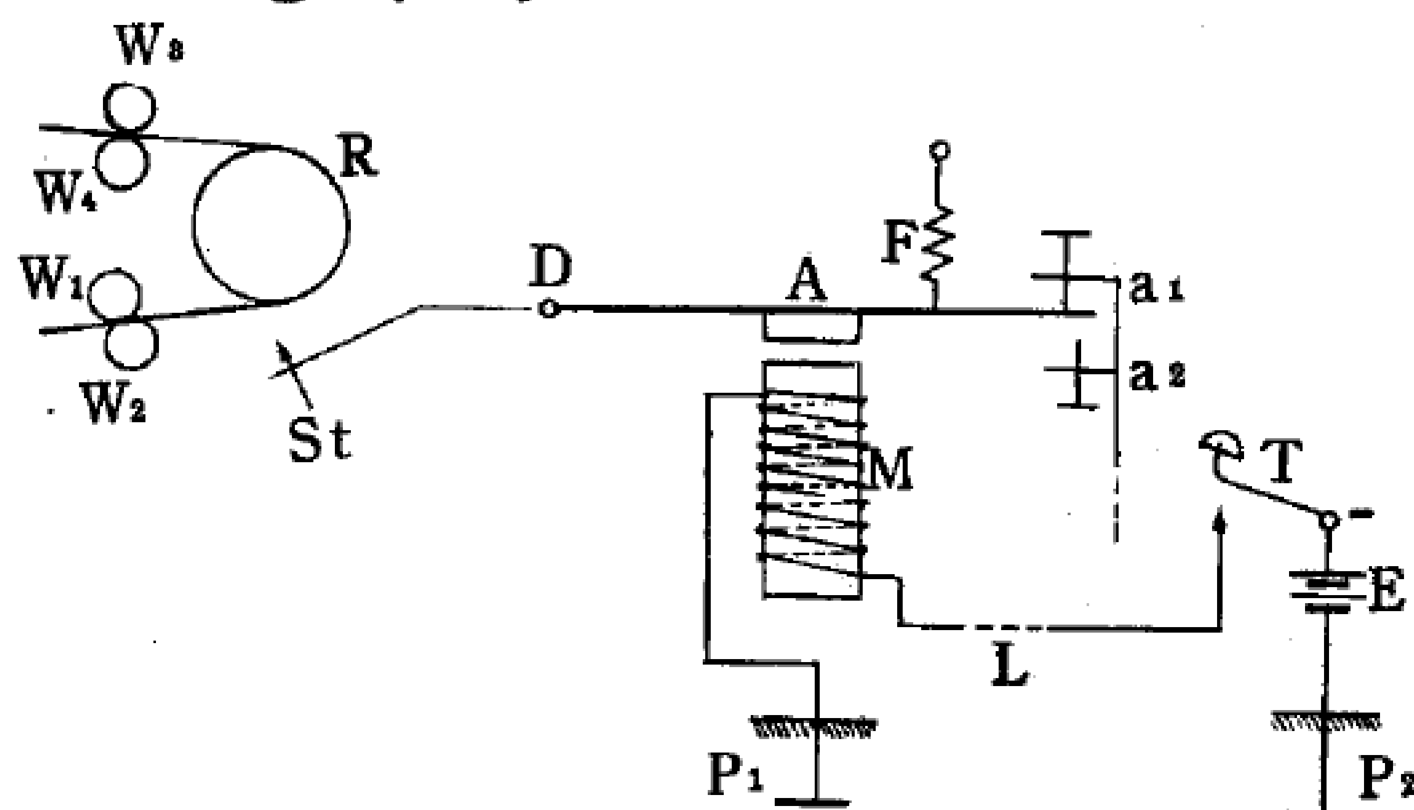


圖 11－153　莫司電報機

就原理上講，只須將電磁鐵M與衔鐵A之間的導線截斷，再令電流

環繞線圈之後直接回到電源，就可使電鈴一變而爲莫司電報機。又線圈的一端與電磁鐵的一極，可分別經由P_1、P_2接地，如此可使電流的廻路經過地球。故鉛筆St與發報電鍵T之間，只須有一條單極長距離導線L就行了。

電鍵T按下之後，電路接通，電磁鐵M遂即吸引銜鐵A。銜鐵係位於雙臂槓桿的一端，槓桿可繞其支點D廻轉；槓桿的另一端則裝有鉛筆一枝，一旦銜鐵受到吸引，鉛筆尖即壓緊一張紙條，後者係繞於轉筒R上，並經由轉輪組W_1、W_2和W_3、W_4的帶動，徐徐自鉛筆尖下移過。定限螺旋a_1和a_2，係用以控制銜鐵A的上下差距，並調節鉛筆尖的壓力大小。牽引彈簧F_1和F_2的作用，則是在斷路時將鉛筆提離紙條。按照電路接通（亦即電鍵按下）的時間長短，移動的紙條上會出現若干線和點，從這些線和點即可組成莫司電碼。

圖 11—154 係說明兩座電報站Ⅰ、Ⅱ的連接法。最令人驚奇的是這兩座電報站的全部構造，就外觀上看來可說完全相同；例如雙方都有莫司電報機M_1、M_2，

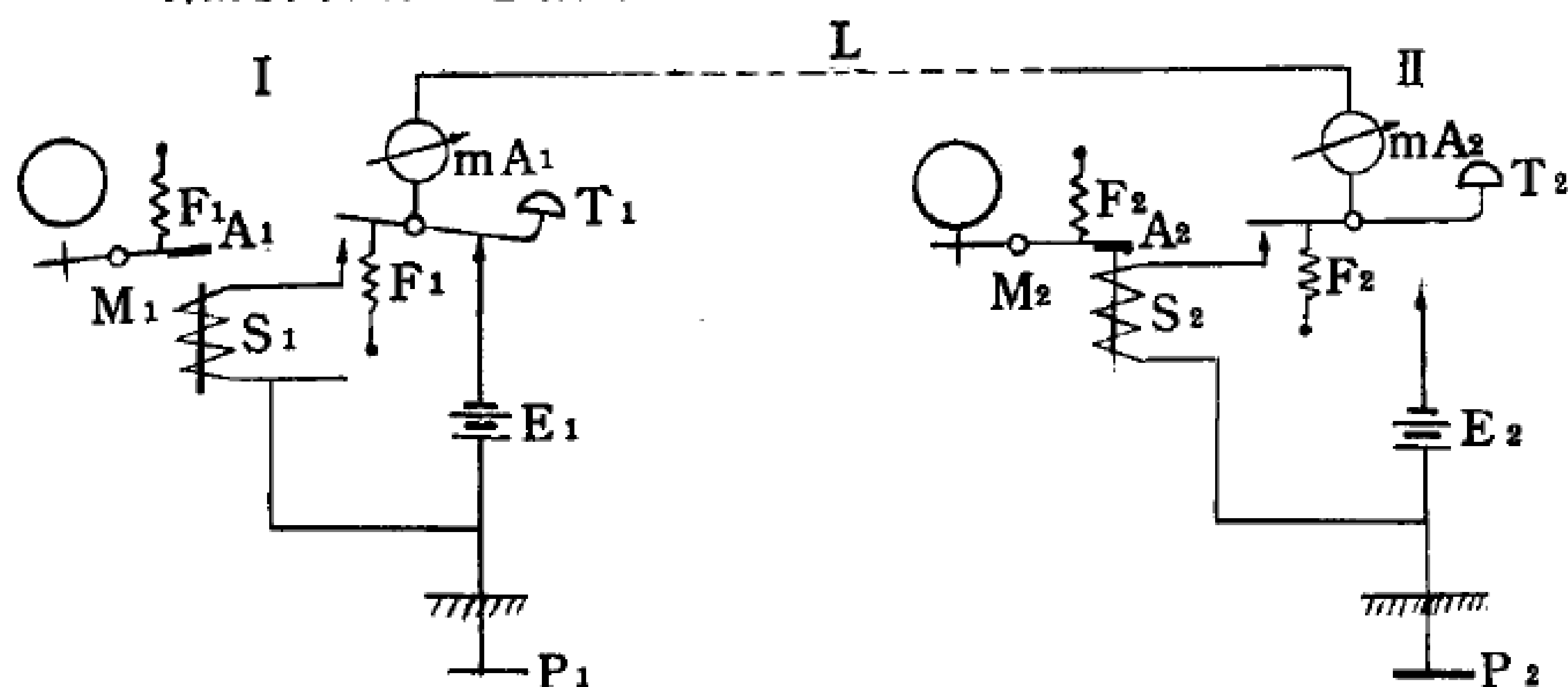


圖 11—154
兩座電報站的連接法

電鍵T_1、T_2，電磁鐵的線圈S_1、S_2，電池組E_1、E_2，牽引彈簧F_1、F_2，銜鐵A_1、A_2，毫安培計mA_1、mA_2等，後二者的作用是在監視電流的強度。兩座電報站係經由架空的長距離導線L互相連接，電流的廻路則利用挾有地下水的地球。雙方電磁組的一極，皆用沉入地下水中的銅片P_1、P_2接地，其目的即在以地球爲電流廻路。當然，我們可以設想這兩

座電報站相距很遠。

在圖 11 — 154 中，第 I 站的電鍵 T_1 剛好按下，故是時 T_1 正在發報位置，而 T_2 則在收報位置。電池組 E_1 的電流，經過 T_1 和 L 流至第 II 站，再經過線圈 S_2 抵達接地片 P_2 ，然後從該處通過地面與 P_1 回到電池組 E_1 。由於電流的作用，第 II 站的銜鐵 A_2 受到吸引。此時，該站的莫司電報機之紙帶上，就會按照通路時間的長短，顯出一個點或一段線。

從圖 11 — 154 可以看出，莫司電碼同樣可由第 II 站發至第 I 站，再由該站的莫司電報機錄出。

近幾十年來，由於通訊技術的進步，莫司電報機已被加以多次改良，不過其物理原理則大致相同。

【莫司電碼】(Morse code)

為了通訊上方便，必須有一種語言，這種機械語言必須是人和機器都能了解的。不但機器能接受它，並且能"說"它。世界上第一種這種語言即是莫司在 1837 年所發明的莫司電碼。

a	·—	*i*	··	*r*	·—·	1	·————
b	—···	*j*	·———	*s*	···	2	··———
c	—·—·	*k*	—·—	*t*	—	3	···——
ch	————	*l*	·—··	*u*	··—	4	····—
d	—··	*m*	——	*v*	···—	5	·····
e	·	*n*	—·	*w*	·——	6	—····
f	··—·	*o*	———	*x*	—··—	7	——···
g	——·	*p*	·——·	*y*	—·——	8	———··
h	····	*q*	——·—	*z*	——·	9	————·
						0	—————

莫司只用兩種最基本的元素即點和線，來組成這種電碼。莫司電碼能把英文字母及數字以點、線之組合表示出來，如上表所列。只要用非常簡單的機械，就可把莫司電碼送出來，甚至於用手電筒或口哨亦可送出。

【莫而圓】(Mohr's circle)

對受力材料的某一截面，其法線與 x 軸夾角爲 α 者，其正應力與切應力爲：

$$\sigma_x = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\alpha - \tau_{xy}\sin 2\alpha$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\alpha + \tau_{xy}\cos 2\alpha$$

而 $$\cot 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

其中 σ_x，σ_y 各爲 x 軸和 y 軸方向上的正應力。

圖 11 — 155 便是莫而圓，可代表任何平面上正應力及切應力之關係，上列三式可以由圖表示出來，並且很方便地決定夾角 2α。

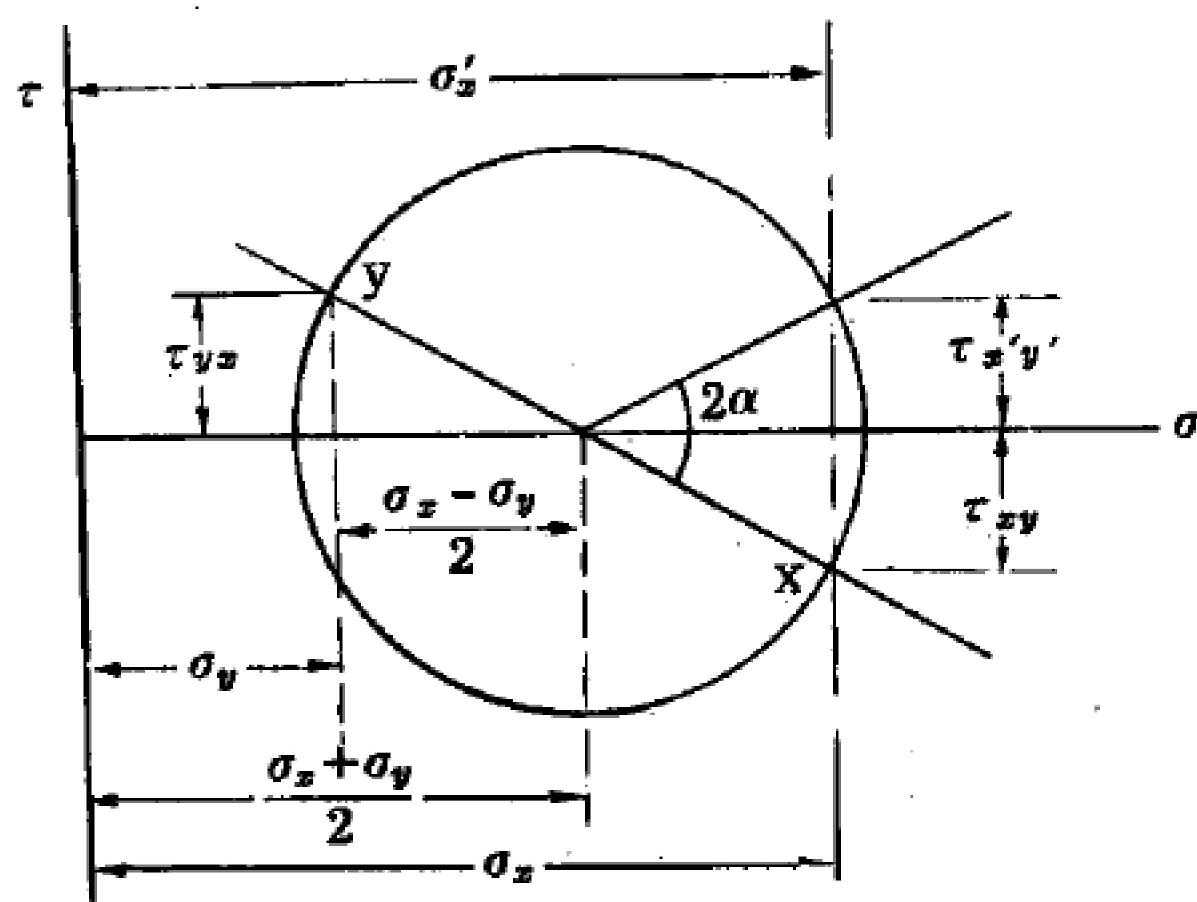


圖 11 — 155

【莫色勒】(Henry Gwyn-Jeffrey's Moseley 1887—1915)

1887 年生於英國威茅斯 (*Weymouth*)，及長入牛津大學攻讀，後在此校並隨物理學家拉塞福 (*Rutherford*) 在曼徹斯特大學從事研究工作。在第一次世界大戰時，莫色勒從軍出征，於 1915 年秋不幸殉職，時年僅二十八歲。

莫色勒以對 X 射線的研究而聞名於世，1913 年發現 X 射線與放射 X 射線之元素的原子序數間有系統的關係；由此發現使科學家們能預先求得未知元素的原子序，並將元素排列在週期表 (*periodic table*) 中的適當位置。

【莫色勒定律】(Moseley's law)

莫色勒發現在週期表上從鋁 (*Al*) 到銀 (*Ag*) 的金屬的 X 光譜中，各元素皆有兩條極顯著的光譜線 (*spectral line*)，$K\alpha$，$K\beta$。譜線

的頻率等於$A(Z-b)^2$，A和b是常數，Z是元素的原子序數。這定律可以由波爾（*Bohr*）原子理論證明，成爲波爾理論的有力證據，將譜線頻率的平方根對Z作圖可以得到一些直線，稱爲莫色勒圖。

【莫色勒圖】（**Moseley diagram**）

詳閱“雙線構造（*Doublet structure*）”條。

【莫芬亭位】（**Muffin-tin potential**）

在晶體中通常原子的最外層電子作某種程度的自由運動，而正離子規則排列在晶格點（*lattice point*）上，只作振幅極小的振盪。因此運動中的電子具有幾乎固定的週期性位（*periodic potential*），其週期等於晶格排列的週期。這種位有多種近似模型表示，莫芬亭位即其中之一，玆描述如下：

以各晶格點爲中心，假定在以R_s爲半徑的圓球內位呈球形對稱，球外則是定值。R_s須小於兩晶格點間隔的一半，但又必須使以R_s爲半徑的圓包含大部分原子的有效體積。即

$$V(\vec{r})=V(r) \qquad r<R_s$$
$$V(\vec{r})=\text{常數} \qquad r>R_s$$

【莫特、瓦尼爾激發】（**Mott-Wannier excitation**）

晶體若吸收能量大於能量間隙的光子（*photon*），則價能帶中的電子被激發到導電能帶中，而在價能帶中留下電洞（*electron hole*）。電子和電洞都在晶體中自由獨立運動，但兩者之間有庫倫力（*Coulomb's force*）互相吸引，所以電子和電洞亦可能會由於這種牽制而形成穩定的束縛狀態。晶體亦可吸收能量小於能隙的光子，而形成一對這樣的電子和電洞。此時電子和電洞在晶體中一同運動而傳播激發能，若這時電子和電洞的距離比晶體的晶格常數（*lattice constant*）大很多，則維繫力很弱，這種以弱力維繫的激發狀態就稱爲莫特、瓦尼爾激發。

【莫特躍遷】(Mott transition)

根據固態的獨立電子理論，凡純淨晶體其每一基本晶胞中有奇數個電子者必爲金屬，但此論與事實頗有出入。自 1949 年始，莫特提出一假設：即使一像氫一樣的原子構成的晶體，如果它的晶格常數(*lattice constant*)大於某臨界值時，也會變成絕緣體(*insulator*)或半導體(*semiconductor*)。許多實驗已證明此現象，但理論說法尚不一致。以電子－電洞對的屏蔽理論而言，原子形成晶體時若彼此間的距離太大，以致屏蔽長度太長，則電子很難逃離正離子的引力，因而形成束縛狀態，此時電子就不再能自由運動，也不能導電，晶體必爲絕緣體。逐漸縮短原子間的距離，電子密度逐漸增加，而屏蔽長度逐漸縮短，當其達到某一長度時，上述的絕緣體突然轉變爲導電性的金屬，這種現象稱爲莫特躍遷。

【荷質比】(Specific charge)

荷質比即帶粒子的電量與質量之比。例如電子的荷質比是 $e/m = 1.759 \times 10^{8}$ 庫倫／克，即 5.273×10^{17} 靜庫倫／克。

【荷電定律】(Law of electric charge)

荷同性質的電彼此排斥，荷不同性質的電互相吸引。

【規範不變性】(Gauge invariance)

詳閱“規範變換(*Gauge transformation*)”條。

【規範變換】(Gauge transformation)

馬克士威方程式(*Maxwell's equation*)未能將位(*potential*)與場(*field*)的關係明確地表明。馬克士威方程式是：

$$\nabla \cdot \vec{E} = 4\pi\rho$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} + \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} - \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{4\pi}{c}\vec{J}$$

式中$\vec{J}$和ρ滿足連續條件：

$$\nabla \cdot \vec{J} + \partial \rho / \partial t = 0$$

電場$\vec{E}$和磁場$\vec{B}$可以用位函數（*potential function*）$\vec{A}$和ϕ表示

$$\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \phi$$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

上式中若將$\vec{A}$與ϕ經過下列的變換，可發現$\vec{E}$和$\vec{B}$仍然不變

$$\vec{A}' = \vec{A} + \nabla X$$

$$\phi' = \phi - \frac{1}{c}\frac{\partial X}{\partial t}$$

式中X為$\vec{r}$和t的任意函數。上式的轉換稱為規範變換，X稱為規範函數。若在$\vec{A}'$和ϕ'加上條件，可以限制X的形式，可使$\vec{A}'$和ϕ'適合波動方程式。此條件為

$$\nabla \cdot \vec{A}' + \frac{1}{c}\frac{\partial \phi'}{\partial t} = 0$$

這稱為羅倫茲條件（*Lorentz condition*），則規範函數X適合

$$\nabla^2 X - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = -\left(\nabla \cdot \vec{A} + \frac{1}{c}\frac{\partial \phi}{\partial t}\right)$$

這時規範條件$\vec{A}'$和ϕ'適合

$$\nabla^2 \vec{A}' - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{A}'}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{c}\vec{J}$$

$$\nabla^2 \phi' - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \phi'}{\partial t^2} = -4\pi\rho$$

凡是經過規範變換後的不變性稱為規範不變性（*gauge invariance*），如$\vec{E}$和$\vec{B}$的不變性。在量子力學中，受到電磁位作用的粒子之波動方

程式，經過規範變換時，只要將波函數ψ變換為：

$$\psi' = \psi e^{iex/\hbar c}$$

則波動方程式的形式仍然不變。通常，波函數ψ的變換稱為第一種規範變換，前面所述$\vec{A}$及ϕ的變換為第二種規範變換。茲將這兩種規範變化分別敘述如下：

第一類規範變換（*gauge transformation of first kind*）：在場論中將拉格朗（*Lagrange*）密度內某一種場ψ換為ψe^{is}（s是實常數）的變換。如經此變換後拉格朗密度的形式不變，則與此場相應的粒子應滿足某一量子數守恆律。例如電荷、奇異性、重子數等的守恆律。這種經變換後不變的性質稱為第一類規範不變性。

第二類規範變換（*gauge transformation of second kind*）：指在電磁場中，將四維向量$A\mu$換為$A\mu + \partial x/\partial x^{\mu}$的變換，此處$\Box x = 0$，$\Box$＝達朗白算符(*D'Alembertian*)。馬克士威方程式經此變換後不變的性質，稱為第二類規範不變性。

【許可劑量】（Permissible dose）

參閱“最大許可劑量（*Maximum permissible dose*；*M.P.D.*）”條。

“輻射防護守則（*Radiation protection guide*）”條。

【貫穿】（Penetration）

如X射線可以透過固體。

【貫穿本領】（Power of penetration）

指X射線貫穿物體的能力，因X射線與光線都屬電磁輻射，頻率甚高，能量大，具貫穿能，故可以透過固體。

【軛】（Yoke）

在發電機外之鐵殼，為磁通路分子之一，其目的在增加磁場之強度。

【軟性X射線】(Soft X-ray)

由較慢的電子所激發之X射線稱爲軟性X射線，其穿透性較弱。

參閱“X射線(*X - ray*)”條。

【軟性管】(Soft tube)

電子管泡內並非絕對眞空，而存有氣體者稱爲軟性管。

【軟焊接】(Soft welding)

詳閱“焊接(*Welding*)”條。

【軟黃銅】(Low brass)

含有極低鋅成分的黃銅，鋅含量約19～22%。

【軟超導體】(Soft superconductors)

週期表裏不必加高壓力也不必打成薄膜就能變成超導體的26種元素之中，有9種簡單金屬。因爲其熔點低且軟，所以叫它們做軟超導體。若把軟超導體打成圓柱型，它的長度比直徑約大10倍，然後將其置於磁場內使其軸沿著磁場方向，而且將溫度保持在T_c以下的定值。如果磁場由零開始增加，則金屬將一直保持其超導性，直到一個臨界場(*critical field*) H_c時，它才成爲普通金屬。由超導性變成普通金屬的磁場範圍很小，因此我們可以說這個現象在H_c時發生。而且如果接著把H_c降低，則又會在H_c時回到超導性現象。

【軟鐵電流計】(Soft iron galvanometer)

圖11－156所示爲一軟鐵電流計。電流通過線圈Sp時，其所生磁場會將吊在彈簧S上的軟鐵棒E吸向下方；並且電流愈強，吸入愈深。結果遂使指針Z，在刻度盤Sk上發生偏轉。如刻度係照安培讀數而劃分，此儀器即稱爲軟鐵安培計。

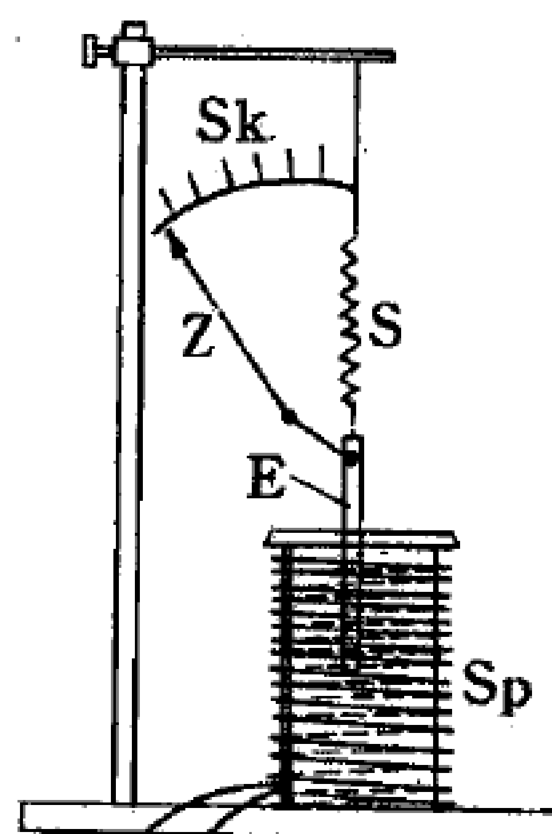


圖11－156
軟鐵電流計

【通用商業語言程式】(Common business oriented language ; C.O.B.O.L.)

通用商業語言程式爲電子計算機所使用的語言程式之一，於1959年，由美國政府官方及電腦製造廠商所組成的委員會所研究發展而成，其後再經其他機構加以修改及維護，沿革發展迄今，頗適合目前商業上的用途。

通用商業語言程式所應用的字母是由二十六個字母、十個數字及十二個特殊符號所組成的。通用商業語言程式包括有下列四大部分：

1. 識別部（ *identification section* ）—— 該部是用來作爲識別者，例如程式名稱、程式編號及程式譯文。

2. 環境部（ *environment section* ）—— 即用以使進行程式與電腦熟悉，以便於程式編輯與組合之進行。

3. 資料部（ *data section* ）—— 該部在說明處理資料的特性與形式（ *format* ）。

4. 程序部（ *procedure section* ）——即描述內部資料處理的程序。

商用語言程式既是從英文而來，所以在形式上即爲英文，因此電腦程式員（ *programmer* ）無須學習特別的符號和代號。

【通地】（ Earthed ； Grounded ）

接地或接一與地接通之導體。

【通地板】（ Earth plate ）

常指與地線連接埋於地下的金屬片。

【通信替續制】（ Radio relay system ）

有中繼設備的通信網。

【通訊衞星】（ Communication satellite ）

供傳遞電話、傳眞、電視轉播及其他有關通訊之衞星均稱爲通訊衞星。其用以加強短程通訊之效果，及改正電波不能隨地球曲度傳佈之缺點。

通訊衞星分自動及被動兩類。自動者能將接收自地面之訊號自動擴大再送回地球；被動者只能反射所收訊號。前者所需動力不大，但需有複雜之接收器及傳播設備，後者則不需要此種設備，只需一個巨大反射器即可達成任務。如衞星在距地 22,000 哩外，此反射之衞星，其直徑非有 1 哩不可，如此龐然大物，在減輕其重量之原則下，唯有採用可塑性材料，在進入軌道後才可自動膨大。

自動之通訊衞星需要之高度較低，其活動一如街中流動郵車，可互作工作聯絡。當其通過一地截獲若干訊號之後，立即由記錄帶錄下。在運行數千哩後再播送出去。

被動的通訊衞星，第一枚為 1962 年 7 月所發射，名為電星一號。它的直徑只有 34 吋，重 170 磅，接收由美國緬因州的安道維，或英國的古恩希勒丹茲播出的電波，再轉播到另一個傳播站去。以後第二枚、第三枚相繼的發射，現在已經能夠同時向地球上任一角落轉播。

又屬於自動通訊衞星的“同步衞星”（即衞星繞地球一週時，地球亦自轉一週），在同步軌道中對世界通訊極為有用。

【通帶濾波器】（Band pass filter）

由兩個（有時是三個）耦合振盪廻路所組成的電路稱為通帶濾波器。其具有比單廻路更為有利的共振曲線。通帶濾波器的共振曲線比單廻路的曲線更近於桌形，因此它就能更均勻地通過已調振盪的邊頻帶。通帶濾波器通常是用在超外差式接收機的中頻放大器內，作成電子管之間的耦合以獲取足夠寬的通頻帶。低於或高於此頻帶的一切頻率都被削弱或消除。

【通量】（Flux）

電磁輻射在單位時間內通過一表面積之能量。

【通量密度】（Flux density）

單位面積之通量稱為通量密度，亦稱射束強度。

參閱"庫倫散射(Coulomb scattering)"條。

【通量量子化】(Flux quantization)

蘭道(Landau)、金柏(Ginzberg)理論所導出的方程式爲

$$\vec{j}=\frac{n^*\hbar q^*}{2im^*}\left[\psi^*\left(\nabla-\frac{iq^*\vec{A}}{\hbar c}\right)\psi-\psi\left(\nabla+\frac{iq^*\vec{A}}{\hbar c}\right)\psi^*\right]$$

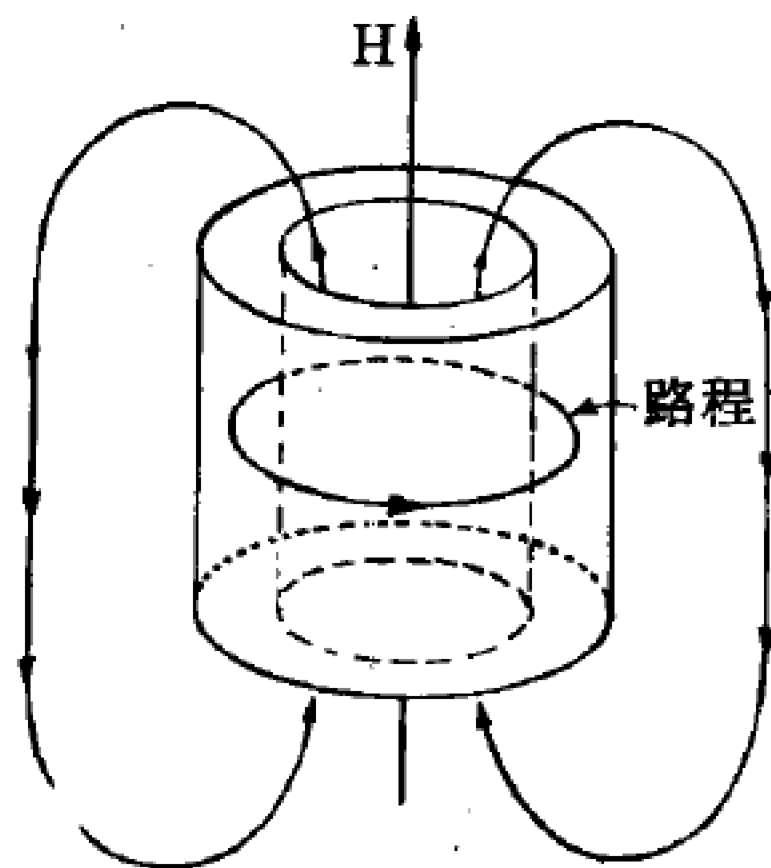


圖11 — 157

式中$\vec{j}$是電流密度，$\psi\psi^*$ 是超導電子數與導電電子數之比，n^* 爲電子密度的一半，$q^*=-2e$ ，$m^*=2m$ 是古柏對(Cooper pair)的質量。

考慮一環狀超導體，如圖11 — 157 所示，在超導體內無電流，若對$\vec{j}$積分一週，得

$$0=\oint\vec{j}\cdot d\vec{l}=\frac{n^*\hbar q^*}{2im^*}\left[\oint\psi^*\nabla\psi\cdot d\vec{l}-\frac{iq^*}{\hbar c}\oint\psi^*\psi\vec{A}\cdot d\vec{l}\right]$$

+ 虛數共軛部分

假設在線積分的一週上，ψ的大小一定，只是相位不定，$\psi=\psi_0\ exp\left[i\theta(\vec{l})\right]$，則

$$\oint\psi\psi^*\vec{A}\cdot d\vec{l}=\psi_0^*\psi_0\ \Phi$$

Φ是超導體所包圍的磁通量。

$$\oint\psi^*\nabla\psi\cdot d\vec{l}=i\psi_0^*\psi_0\oint\nabla\theta(\vec{l})\cdot d\vec{l}=i\psi_0^*\psi_0\Delta\theta$$

因ψ必須爲單值函數，所以繞一週回至原處，$\theta(\vec{l})$只改變2π的數整倍，即 $\frac{iq^*}{\hbar c}\psi_0^*\psi_0\Phi=i\psi_0^*\psi_0 2n\pi$

故 $$\Phi=\frac{2\pi\hbar c}{q^*}n$$

n 爲整數，所以超導體所包圍的磁通量是量子化者。

上面的推導中，我們假設有 $\vec{j}=0$ 的路徑，若超導體太薄，以致於厚度遠小於侖敦滲入厚度，則磁通量便會以一小束一小束的穿透薄膜，但是這每一束仍然是量子化者。

【通路】(Closed circuit)

電流於電源內外可循環流通時的電路。

【通電式震波】(Switch-on shocks)

若磁性水力震波的愛爾芬、馬赫數大於一，沿震波之前的切線方向可產生磁場及速度流，因而磁場在橫過震波處改變方向，電流在震波之前表面上流動，這種現象稱爲通電式震波。若磁場太小，則變爲普通的震波，此時通電式條件只由磁性水力學所決定。

【通話計】(Message register)

計算通話次數的記錄器。(有線電話用)

【通頻段】(Pass band)

發射頻段無改變或減幅現象；且頻段內所有頻率可以通過，稱爲通頻段。

這是接收機、濾波器或任何一種設備所通過的頻段。任何無線電信號都是已調振盪，也就是其中所包含的不單是某個頻率的正弦波，而是各種不同頻率的正弦波的整個頻譜，這些頻率佔據著一整段頻段；調制中的最大頻率越高時，此段頻帶就越寬。所以任何一個接收設備都應當能夠通過一整段頻段，即應當具有一定的通頻段。爲了能夠無失眞地接收信號，通頻段應當有足夠的寬度。只有在這個條件下，很遠的邊頻才能通過而無顯著的衰減。調制頻率越高，接收機的通頻段就應當越寬。例如在進行無線電廣播節目的藝術接收時，無線電接收機的通頻段不應低於8～9仟赫。電視接收機的通頻段應當寬得多——大約爲數兆週。

除了需要通過輸入信號頻譜中所包含的全部頻率外，接收機應當具

有一定通頻段的原因還在於所收電臺的載頻可能在某種範圍內變化，而接收機的調諧也可能有些變化。爲了使得所收電臺在這種情況下不致脫離接收機的調諧，接收機應當具有某一有限的通頻段。第二點要求在短波及超短波中更起著特別重大的作用，在這種波段裏，不大的相對頻率變化就對應著很大的絕對頻率變化。在任何情況下，接收機的通頻段都應當大於發射機或接收機調諧頻率可能發生的絕對變化。

【連接圖】(Connection diagram)

照字面講，就是表示儀器內各個元件及其連接情況的圖。

這個術語還包含著更廣泛的意義，例如在電路的裝配、電路的改裝等，這裏所說的電路當然不是圖，而是儀器本身。

【連通器】(Communicating vessel)

將數個形狀不同的容器連通，則成一連通器，如圖 11 — 158 所示。將水注入一個容器，水必流入其他數個容器，至各容器的液面達同一水平面而止。這量因爲各容器下端的壓力相等，所以深度應相等，就是液面必保持同一水平面。

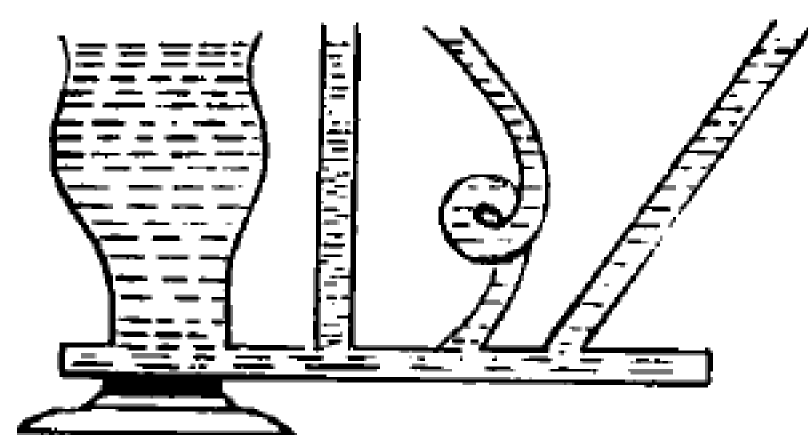


圖 11 — 158

【連鎖反應】(Chain reaction)

鈾原子核分裂時，除放出巨大之能量外，尙放出 1 至 3 個中子，此等中子在某種情況下又能引發其他之鈾核起分裂反應而放出更多之中子，以分裂更多之核，此種反應，稱爲連鎖反應。其吸收慢中子以後，可有四十餘種分裂法，分裂的碎片各成一連鎖衰變，如圖 11 — 159 所示。

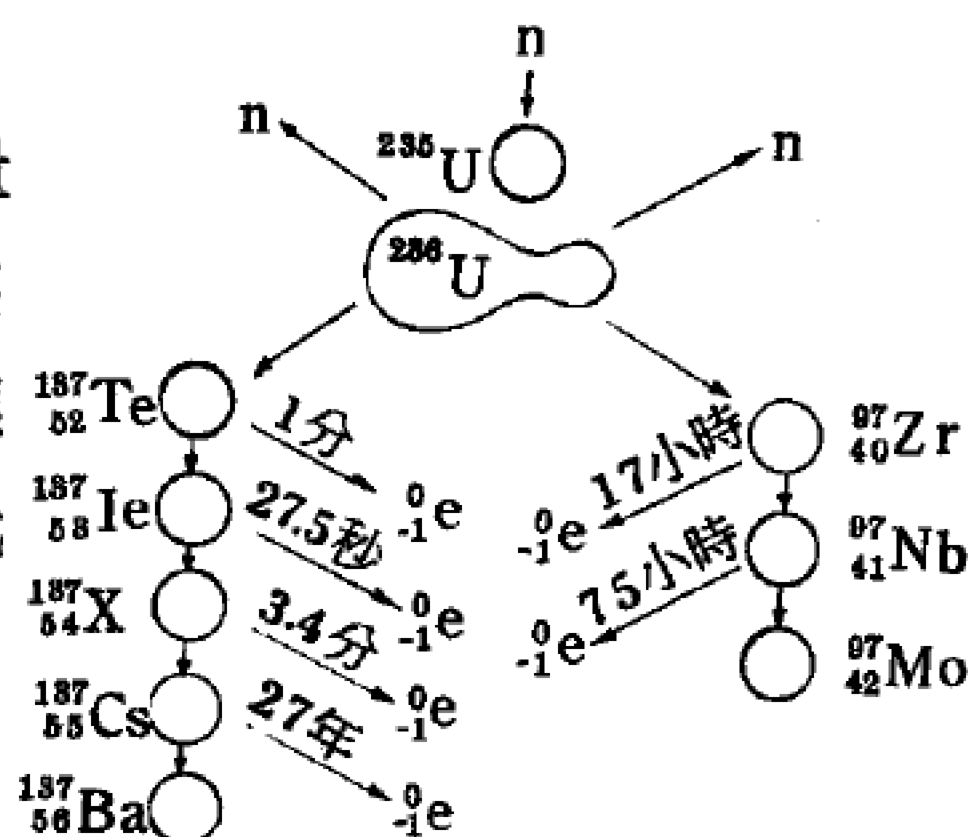
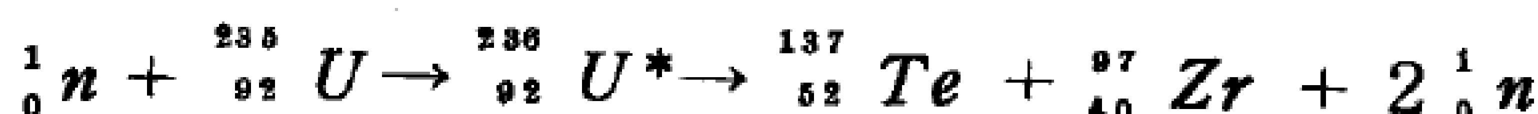


圖 11 — 159

發生分裂時，平均有二至三個快中子放出，即



$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{92}^{236}U^{*} \rightarrow {}_{52}^{137}Te + {}_{40}^{97}Zr + 2\,{}_{0}^{1}n $$

這些快中子，可能從系統中漏失，也可能被其他物質所吸收，但仍然有一部分的快中子，被減速成慢中子。這些慢中子有一定的機率被系統中的鈾元素所吸收，而導致分裂，分裂過程中再度產生新的中子，如此繼續不已，則導致一連串的分裂反應，這就是連鎖反應。以圖 11—160 表示如右。

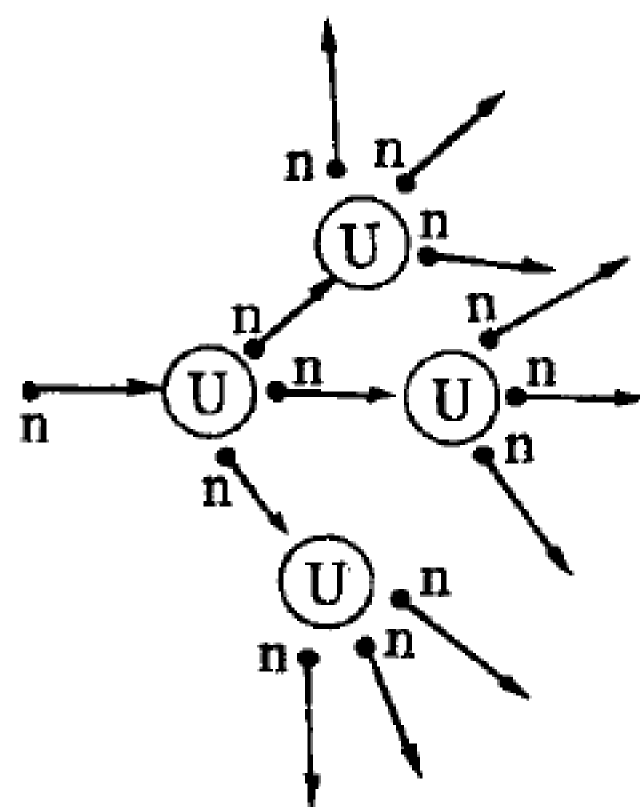


圖 11—160

其他的放射性元素，例如鈽（ *Pu* ）也有連鎖反應。通常在反應器內的連鎖反應分裂，可以控制；而原子彈的連鎖反應分裂，則無法控制。

【連續方程式】(Equation of continuity)

此為表示流體運動時質量守恆的方程式。在尤拉（ *Euler* ）方法內，設流體密度為 ρ ，速度為 $\vec{v}$（ u, v, w），則連續方程式為

$$ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 $$

或

$$ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 $$

在不可壓縮流體內 $\nabla \cdot \vec{v} = 0$，所以這方程式變成

$$ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 $$

在拉格朗（ *Lagrange* ）方法內，連續方程式形式如下：

$$ \frac{\rho}{\rho_0} \frac{\partial (x, y, z)}{\partial (a, b, c)} = 1 $$

但是在 $t = 0$ 時，$x = a$ ，$y = b$ ，$z = c$ ，$\rho = \rho_0$。

【連續介質】(Continuous medium)

一介質的密度、速度、溫度等性質都是時間、位置的連續函數時，此介質卽稱爲連續介質。

對於連續介質，我們主要的目的，就是要觀察它受力之作用後，所表現的特性，例如形狀改變、運動的情形以及力的分佈等等。

【連續光譜】(Continuous spectra)

在原子及分子光譜中，一般譜線均爲細線狀，但亦有連續部分，稱爲連續光譜。量子力學系統中，若所有質點的運動均受位能的限制，僅能在空間的一小部分中運動，其能階均因量子化而成不連續之分佈；若此系統中的質點獲有足夠動能而逸出位能限制之區域時，其能階卽成連續的分佈。例如在原子中電子僅能在核附近運動，產生不連續的線狀光譜，但若所吸收的光能量能使電子游離，卽顯出連續光譜；在分子光譜中，若躍遷過程的終態分子分解，其光譜亦爲連續光譜。

物質加高熱放出的輻射光譜，與加熱物質無關而僅爲溫度所控制，此種光譜亦爲連續光譜。

【連續電流】(Continuous current)

導線二端電位差維持不變，電子可於其上連續移動的現象稱爲連續電流。又名穩定電流(*steady current*)。

【速度】(Velocity)

物體在單位時間內之位移，稱爲速度。速度包含時間、距離和方向三種關係。若僅指單位時間內所行路程之長短，而不論其方向，則稱爲速率。

若所求者爲一有限時間內之位移，此種速度稱爲平均速度(*mean velocity*)。若時間趨近於零，則所求得之速度稱爲瞬時速度(*instantaneous velocity*)。

在*M.K.S.*制中，速度的單位以每秒米或ms^{-1} 表示。其意義爲一物體在一秒內以等速度運動時，其位移爲一米。

若以$\vec{r}$表示一質點或物體相對於某原點的位置（包括距離及方向）

，則速度爲 $\vec{v}=\dfrac{d\vec{r}}{dt}$

【速度比】（Velocity ratio）

火箭在燃料耗盡時之速度與排氣速度之比率稱爲速度比。單級火箭之速度比與質量比率之關係如下：速度比率＝*ln*（質量比率）。

【速度之界限】（Limit of velocity）

羅倫茲（*Lorentz*）收縮爲$l\sqrt{1-v^2/c^2}$，如果v等於光速c，其值則爲零。若v大於光速，其值則變爲虛數，而無意義。故須認爲一切物體之速度小於光速度，而毋須考慮超光速的相對速度。故光速即爲速度之極限。

【速度位】（Velocity potential）

設流體速度爲$\vec{v}$，則因在無旋流動中$\nabla\times\vec{v}=0$，故必有滿足$\vec{v}=\nabla\phi$的函數ϕ存在，函數ϕ稱爲速度位。不可壓縮流體的無旋運動，無論穩定或不穩定，必滿足拉普拉斯方程式（*Laplace equation*）$\nabla^2\phi=0$。

【速度表】（Aerodromometer）

測量空氣速度或氣流的儀器，由茨韋德馬克（*Zwaardemakes*）所發明。

【速度相加】（Addition of velocity）

在參考系s'中，一物體以速度$\vec{v}'$運動。此參考系又以等速度$\vec{u}$對另一參考系s作運動。在古典力學中，經過伽立略變換（*Galilean transformation*）後，在參考系s中所測得此物體的速度$\vec{v}$爲

$$\vec{v}=\vec{v}'+\vec{u}$$

但在相對論中，則如此所得的速度有時會超過光速，違反相對論中光速爲所有速度極限的原理，因此相對論的速度相加爲另一形式。

令 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t') 分別表示參考坐標系 s 和 s' 的坐標。由羅倫茲變換 (*Lorentz transformation*) 得知：

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{(x'_2 - ut'_2) - (x'_1 - ut'_1)}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$

$$= \frac{\Delta x' - u\Delta t'}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$

$$\Delta y = \Delta y' \qquad \Delta z = \Delta z'$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' - u\dfrac{\Delta x'}{c^2}}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$

由速度定義

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} \qquad v_z = \frac{\Delta z}{\Delta t}$$

及

$$v'_x = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} \qquad v'_y = \frac{\Delta y'}{\Delta t'} \qquad v'_z = \frac{\Delta z'}{\Delta t'}$$

得知

$$v_x = \frac{v'_x - u}{1 - \dfrac{uv'_x}{c^2}} \qquad v_y = \frac{(\sqrt{1 - u^2/c^2})\,v'_y}{1 - \dfrac{uv'_x}{c^2}}$$

$$v_z = \frac{(\sqrt{1 - u^2/c^2})\,v'_z}{1 - \dfrac{uv'_x}{c^2}}$$

其逆變換爲

$$v'_x = \frac{u_x + u}{1 + \dfrac{uv_x}{c^2}} \qquad v'_y = \frac{(\sqrt{1 - u^2/c^2})\,v_y}{1 + \dfrac{uv_x}{c^2}}$$

$$v'_z = \frac{(\sqrt{1 - u^2/c^2})\,v_z}{1 + \dfrac{uv_x}{c^2}}$$

這是速度變換公式，亦即速度相加。

【速度係數】(Coefficient of velocity)

由相對論推得的結果，高速運動的物體，其長度會縮短，質量會增大，而其經歷過的時間間隔則會膨脹，以式子表之，為

$$L' = \frac{L}{k} \qquad t' = t \cdot k \qquad m' = m \cdot k$$

其中 $k = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ 這個因子便叫做速度係數，它的效應只有在高速運動時才明顯，此時伽立略變換式（*Galilean transformation*）已不能適用，而須改用羅倫茲變換式（*Lorentz transformation*）。

【速度距離關係】（**Velocity-distance relation**）

依照晚近天文家觀測結果認為除距離最近之星系以外，所有天河外星系均在作遠離地球（及太陽）之運動。其運動之速率隨距離增大而增大，最遙遠者之運動速度每秒達萬哩以上。

速率之變化為距地每增 300 萬光年，速率每秒增加 350 哩。亦有天文家認為此值過大。

【速率】（**Speed**）

速率係指瞬時速度的大小。平均速率則指在 Δt 時間內，所經路程長度 Δs 的平均值　　平均速率 $= \Delta s / \Delta t$

因而“平均速率”和“平均速度的大小”並不相同，因為平均速度是以位移向量 $\Delta \vec{r}$ 表示。簡單的例子是沿一封閉曲線，自某點出發再回到該點，則平均速度　$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = 0$

因為 $\Delta \vec{r} = 0$；但平均速率等於曲線總長除以 Δt，並不為零。只有在 Δt 時間內的運動方向從不改變時，$|\Delta \vec{r}|$ 才等於 Δs，而平均速率等於平均速度的絕對值。

參閱“速度（*Velocity*）”條。

【速率控制】（**Speed control**）

是一個可以調整速度的調速器。

【速跳線路】(Jumping circuit)

限制屏流超額的安全裝置。

【速滅振盪器】(Quenching oscillator)

超再生機產生速滅頻率振盪電壓的振盪器稱爲速滅振盪器。

【速滅頻率】(Quenching frequency)

超再生機本機振盪器的振盪頻率控制超再生機的檢波級的工作時間，故若接收強信號，亦不致產生振盪。

【速端曲線】(Hodograph)

在質點的運動路徑上各點畫其速度向量，然後將任一點 O 爲原點畫出和這些速度向量相等的向量。此時向量的終端所形成的曲線稱爲速端曲線。在速端曲線的速度 (導數和方向) 即表示運動路徑上各點的加速度。

【造山運動】(Making of mountain)

山脈的生成曾被認爲是大陸漂移的可能結果，但所有漂移的理論都不太理想。因此潮汐力及各種應力，如依地球自轉或變形的離極漂移力都不足以提供造山的原因，唯一剩餘的主要因素是地熱，目前所有的解釋中多依熱而說明比較合理。

1. 收縮說 (*contraction theory*)—— 由火山爆發及地熱測得地球內部是熱的。地熱按深度增加，明顯的地熱是向表面傳導，放射性物發現以前認爲地心已漸變冷。如此計算則地球以前比現在要更熱。由於不繼續冷卻黏度增加，又因對流遲緩冷卻速度減慢，如此則地表與地心發生相當的溫度梯次。熱量再損失，任何不能混合物質要依密度分化成層。鐵與鎳沉入地心，矽酸鹽漂在上面，中間有層含鐵及鎂矽酸鹽。在表面結晶開始析出而下沉至某一深度，當其溫度高至將其重熔或其密度與周圍熔岩相等。液體黏度更行增加，則此結晶的沉落將行漸少。有時可能在冷表面上生成得很快，時間不容許下降而構成固體結晶的網狀

物。這樣原始地殼極易破碎而漂在熱液上，也可能成爲大塊而下降。最後強度增加，至相當強度構成一連續層包圍地球。殼又慢慢增厚，包圍物質之平均溫度，無論液態或固態均將降低。在其冷卻時，將要收縮。地表溫度受制於太陽，在大氣層生成後，地表溫度即停留在今日的狀態。因此地表將不像內部那樣收縮，其剛度使其維持原形。地下收縮物質爲支持地殼，將生出很大的應力而沿弱帶發生褶曲，逆掩而成山脈。冷卻再進行，內部更收縮，山脈最初即生在此處，後又生在他處，不斷的調整地球內部的縮小，故在地球歷史上差不多每個地方都有山脈。

自從放射性發現以後，情形就大不相同。因爲在露出岩石內放射性的量相當多可達相當深度，地球內部熱到相當程度，放出的熱量足以補償地表熱的損失。如此則地球未必如上述由冷卻而收縮到相當程度。

另外一個說法是地球內冷固體質點集合，熱度增高。礦物變熱發生變化，生出新化合物以適應高壓。結果內部收縮使地殼歪曲。隨內部變溫而再調整加速，隨溫度增加而再結晶加速由物質分化生出較密礦物。這與造山在最近地質年代生成最盛之理論相一致。

收縮說的最大弱點是收縮量過大，難以計算出來。例如喜馬拉亞與中亞細亞山帶可能縮短地殼約大至 3,000 公里，如所有垂直於此山帶的一個大圓的半徑縮短都集中於此，則

$$C = 2\pi R = 3{,}000 \text{ 公里}$$

其中 C 爲地球圓周，R 爲地球半徑。半徑縮小約480公里或480/6,370 × 100% = 7.5%。這數值從古生代以來不足地球歷史 1／8 來計算，實屬過大。這僅是當時生成山系之一。阿爾卑斯在第三紀的不足七千萬年，圓周縮短爲 120 公里，半徑縮短約 20 公里，此期間其他大山脈在環太平洋周圍同時生成。

2. 重力滑動（*gravity sliding*）——德利（*Daly*）曾於 1926 年及 1938 年提出一個比較修正的收縮說，他假定最初地球形狀不一致

，有相當高度差。任何自由滑動的物質將能由重力推下這些斜坡。在斜坡根堆積的沉積物，當地殼大塊向其滑動即將推擠成爲山脈。爲尋找引起滑動必要的高度變動，德利假定地球冷卻不均，在陸上一些地方矽鋁質岩石防止熱的逃逸，岩石膨脹，岩柱上升，在洋下沒有含相當量放射性礦，岩石冷卻收縮沉下。如此陸上岩塊即滑入海中，在其邊緣構成山脈，如今日環太平洋之情形。滑動將在移動大塊趾端地向斜物楔下，因加熱而地殼變弱容易發生。其小塊將裂開而沉入下層可塑性矽鎂質中。熱的岩石流入而補其位即侵入褶曲帶成爲基岩，通過裂紋並上升至表面而成火山。取玄武岩膨脹係數爲 $16\times10^{-6}/{}^{\circ}C$，如1,000公里長岩柱因溫度變化升起10 公里（32,808呎）由公式得

$$\frac{\Delta L}{L}=16\times10^{-6}\Delta T$$

$$\Delta T=\frac{10}{1{,}000\times16\times10^{-6}}=625\ {}^{\circ}C$$

因地心最大溫度不會超過2,000 °C 太多，100公里以下溫度梯次要小，則溫度變化只能升起地殼高度爲今日地球最高山高度的一部。另外滑動說與觀測構造格式難以符合，對於深層地震的格式沒有明顯的關係。在較多物質滑入地區期待有正的重力異常而非負的，火山將要集中在遠離造山張力區，而不在現在看到的地方。

3. 地下對流（*subterranean convection*）——在所有古老山脈中心普遍有基岩心，這提示山帶下的地下物曾經一度熔化過。在造山發生當時，如地殼下部爲流體，則地套下也應如此。這些物質在一低黏度狀態，由其中或地球下層的放射性物放出之熱量將引起對流。無論物質是液態或可塑態物均可成立。皮克瑞斯（*Pekeris*）於1935年曾說在地套內如條件合宜可能希望有對流產生。這對流將對地殼底施以摩擦力，則對流水平流動處應力最大。在水平應力增加地方有張力的構造，有負應力梯度處將發生壓縮。最初當應力在作用，地殼將彈性屈服，在壓

縮帶慢慢膨脹生出寬的基盆，最大應力處有最大幅度。沉積將把高峯風化而積在基盆，則此處成爲地向斜。由地向斜的塡充當地殼變厚向下彎的根將開始加熱使其更弱，最後將褶曲成下扣（*downbuckle*），此種構造叫做構造槽（*tectogene*）。

4.熱循環（*thermal cycles*）——收縮與對流的熱過程都是連續的，必經地質年代供給一定常或僅緩慢變動的能。造山的一個最顯著模樣是在時間上並不一致。地球史中某些時代其構造活動比其他時代旺盛。在後古生代及後第三紀造山似乎特別興盛。其他較大或最大值發生在志留紀、泥盆紀、侏羅紀及前第三紀時代。奧陶紀、三疊紀及白堊紀中季比較平靜。安靜與活動的變化可能不太明顯。我們對於地質僅知地球的有限部分。70%以上埋在海底，其他爲近代沉積物所遮蓋。還有其他如南極洲被冰雪所蓋或不可達，對其本性知道的也很少。地質年代尺度本來每個年代是個平靜時代，其前後有不休息間隔。但對地球瞭解得愈詳細，構造活動的分佈似乎愈來愈不合理。不同區域在不同時間被擾動。在某一處造山與他處的平靜沉積相恰合，可能要發現在地球世界無時期的分別，僅是活動的位置從一處移到他處而已。從我們有限的智識可推想有造山的一個週期性。若利（*Joly*）曾企圖表示這週期如何發生，認爲熱發生在地殼下地套內。如在套中有放射性物之集中，並其濃度等於地表玄武岩中的，則熱量發生要比由傳導移去的快。層底下的傳導損失將最少。淺層物質必被熱得快，將從底下向上層熔化。熔化將是個漸漸程序，固相與液相必長時期同時存在。熔化慢的結晶將構成網狀物充滿液內，最後全體被潮汐力裂開，較冷物質恰從地殼下沉至地套下部而熱物質將升至接近地表。

熱及冷的物的相對位置互相轉換。熔點因壓力而增加，上升流體將成爲液體，冷的下降大塊將成更強硬。如此一度相反發生後，地殼下流將停止。熱的熔化物在近於表面，將因熱傳導而冷卻，沉下的固體將被

自己的放射能加熱。在一段時期後此循環將又反覆。

此週期將受助於大陸及海洋下熱量損失速率之相反，在海下有更多熱量要損失。大陸岩石的放射性必帶回陸下的熱，則陸下物質必與冷卻海下各斷片相反而溫熱。當熔化循環達到其極點，大陸能比其他時期漂移較易，潮汐或其他力能更容易偏移它們向西至新的位置。如此則甚至它們的位置也可能包括在構造循環之內。

若利設想對於地殼下熱流的接受有很大貢獻，惟週期性的想法並未如對流那樣的圓滿成立。假如地殼下含有充分放射性物在第一處使熔化，則難以瞭解如何能因傳導而冷卻足以固化，特別是當其成分爲表面玄武岩且含有相當量的放射性元素。實際上很可能比此更爲超鹼性並缺乏放射性物質。這將維持地套下部熔化，對流的週期性將被阻止而連續循環必更可能。

【造鏡者公式】(Lens maker's equation)

一個薄透鏡之焦距 f 可以訂定爲：(1)透鏡軸上一點物體之物距，其像在無窮遠處者；或(2)在透鏡軸上距透鏡無窮遠處一點物體之像距。因此對於透鏡的笛卡爾公式 (*Descartes' formula*)

$$\frac{1}{p}-\frac{1}{q}=(n-1)\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)$$

我們可以令 $p=f$ ，$q=\infty$ 而得

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)$$

f 即爲薄透鏡的焦距，r_1 ，r_2 是二表面的曲率半徑。

此式可說明透鏡二面的曲率半徑及製造透鏡所用物質的折射率與焦距的關係，故稱爲造鏡者公式。

若鏡子兩面之折射率不同，則此式將爲

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_2-n_1}{n_1}\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

【透明電漿】(Transparent plasma)

可傳播電磁波的電漿(通常附於頻率高於電漿頻率的電磁波，才可在電漿中傳播)，稱爲透明電漿。

【透明體】(Transparent body)

如被照體將所受之光自其表面反射者，稱爲不透明體；如其任由外來之光通過者，則視其透光之程度分別稱爲透明體(如水、空氣、玻璃等)或半透明體(如油紙、羊皮紙、磨沙玻璃等)。此三種物體事實上亦吸收一部分外來之光。

不透明體如呈極薄片狀時，亦可成爲半透明體，如極薄之金箔透光呈綠色，銀箔透光呈藍色。反之，透明體如層數過多，則將變成不透光，如過厚之水層下面呈黑暗即爲一例，又如河海之深不能見底亦然。所以不透明體、透明體與半透明體之間，不可能有一種很明顯的界限。

【透明體的顏色】(Colour of transparent body)

把一片紅色玻璃放在由稜鏡折射而成的光譜前，會完全呈紅色。所以，透明體呈現的顏色，視其能透過的色光波長而定如圖11—161所示。圖中(*a*)，紅色玻璃所透過者，大部分是白光中的紅色光線，紫色玻璃所透過者，大部分是紫色光線。圖中(*b*)，紅光遇到藍玻璃，即被吸收。換句話說，沒有光線透過，因而呈黑色。這是對某種光線波長的傳遞選擇性。在照相術、交通信號、霧燈、機場照明及鮮艷的色彩裝飾上，都應用這個原理。

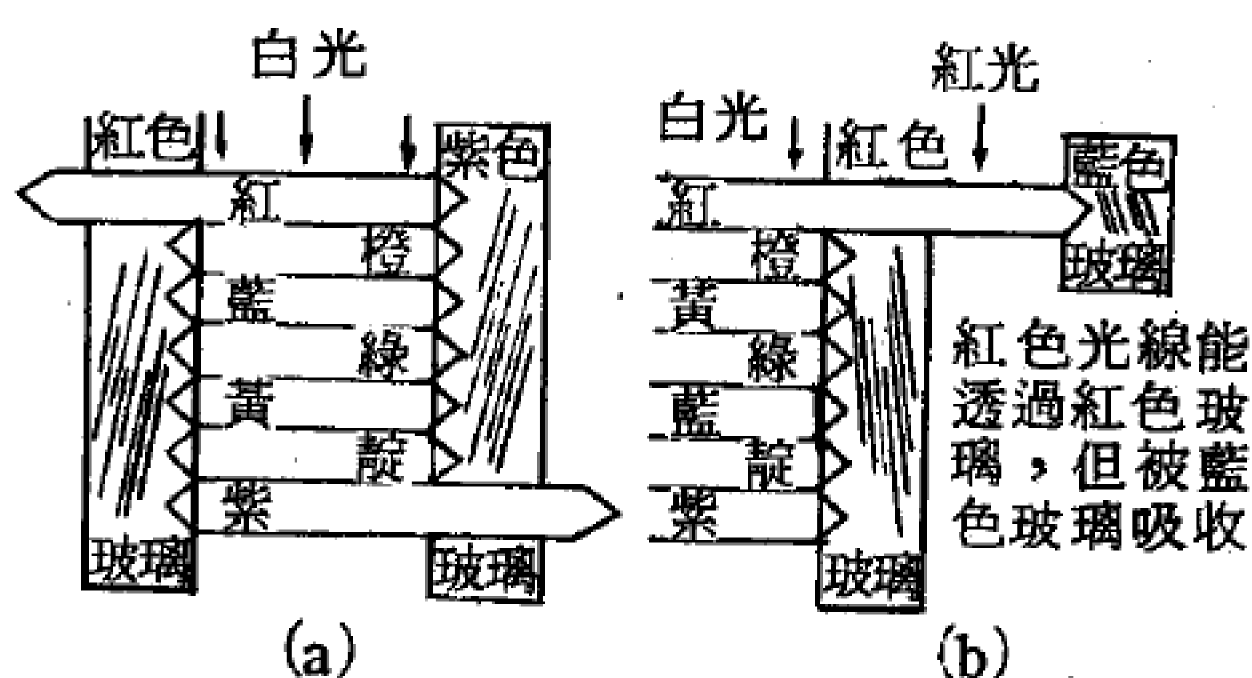


圖 11 — 161
每一著色透明體的顏色，視其能透過的色光波長而定。

【透射比】(Transmittance ; Transmissivity)

透射比之定義如下：透射入第二介質之光強度與入射光強度的比，即透射比。透射比爲

$$\frac{I_2}{I_1} = \left| \frac{E_2 \ H_2}{E_1 \ H_1} \right| = \frac{4 n_1 \ n_2}{(n_1 + n_2)^2}$$

【透射光柵】(Transmission grating)

造成繞射圖樣的方法有兩種：反射式和透射式。反射式光柵是用鑽石針尖在磨光的金屬表面上刻劃細線而成，相鄰二槽之間之磨光了的空間將入射光反射，其結果就和點光源一樣，於是可以形成繞射現象。

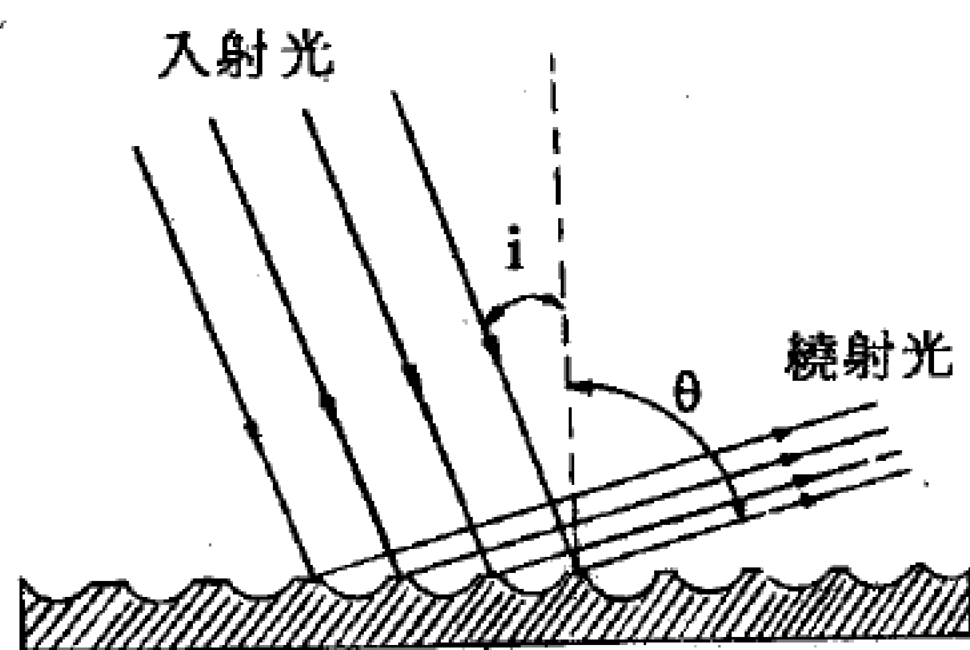


圖 11 — 162　反射式光柵

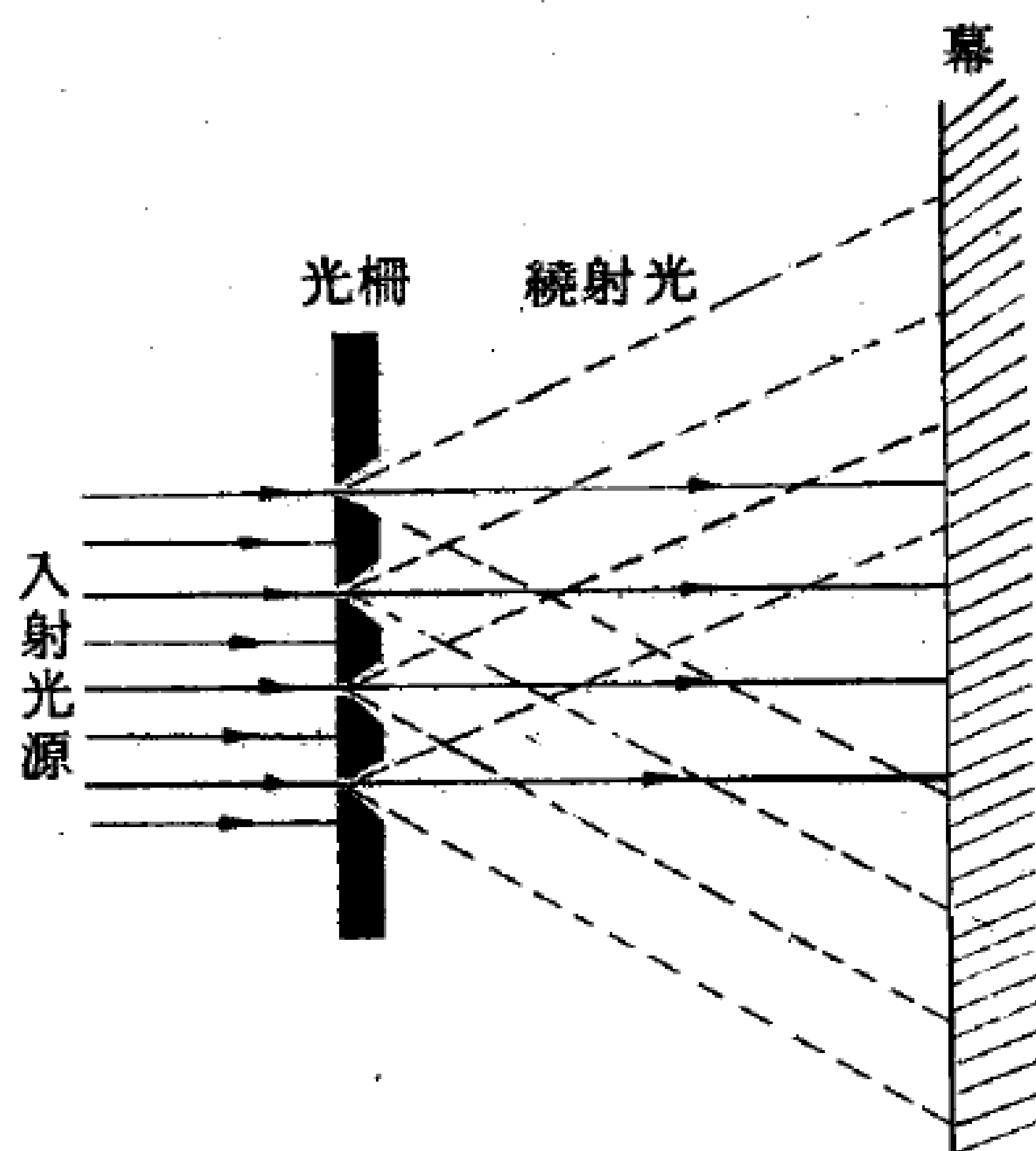


圖 11 — 163　透射式光柵

而透射式光柵的製造，則是在不透明的光屏上，刻劃出狹縫，於是透過的光波便可在屏後形成繞射圖樣。

【透射式繞射光柵】(Transmission diffraction grating)

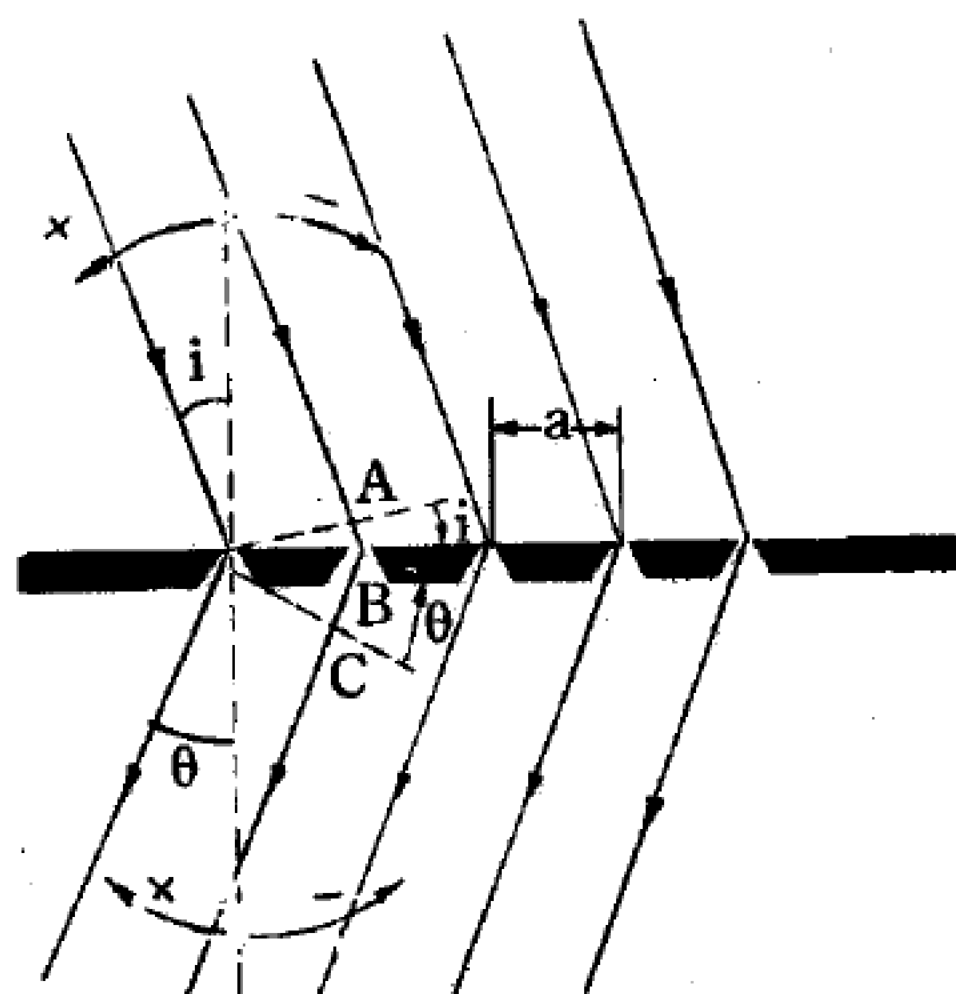


圖 11 — 164
入射線斜射於繞射光柵

由每厘米數千狹縫所組成之透射式繞射光柵，於一透明薄膜上刻劃一系列平行線，諸線當作狹縫間之不透

明區域者，可以分析近紅外線，可見光或紫外線光。一繞射光柵亦可由反射而造成，於一金屬表面上刻劃一系列平行線，諸刻劃線間之狹窄條紋反射光線，構成一繞射圖案，有時光柵之表面製成凹形，以增進聚焦效果。

當落在繞射光柵上單色平面波之入射角不爲零時之情況，如圖11—164中，入射角爲 i ，繞射角爲 θ ，諸主要極大是由干涉圖案決定之，而這極大依次地，由相繼諸狹縫中之相關射線間之相差決定之，如圖11— 164所示，此相差係由

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(AB+BC) = \frac{2\pi a(\sin i + \sin\theta)}{\lambda}$$

決定，爲使這表示式具有普遍的正確性起見，角度 i 與 θ 必須具有圖11—164中示出的符號。就一極大條件 $\delta = 2\pi n$ 言，上式變爲

$$a(\sin i + \sin\theta) = n\lambda$$

$n = 0$ 時，則有 $\sin\theta = -\sin i$ ，或 $\theta = -i$ ，此即入射線之延長。

當波長稍微不同的兩平面波落在一繞射光柵上時，每一波長之同級主要極大，彼此相互密接，以致無法區別原入射線爲單色或非單色。欲使二波長於一指定級上能夠區別（或鑑別）起見，一波長之主要極大，必要落在另一波長主要極大兩側之第一零值上。令 $\Delta\lambda$ 爲最小波長差，在波長 λ 之情況，上述條件滿足時，光柵之鑑別率爲 $R = \lambda/\Delta\lambda$ ，可以證明鑑別率由

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nn$$

所定。因此，光柵之總線數愈多與譜線之級愈高，$\Delta\lambda$ 越小，則光柵鑑別率越大，在另一方面，鑑別率與光柵中之刻劃線大小，以及其間隔無關。

當數個波長所組成之光落在光柵上時，除了對所有波長均一樣之零級極大外，不同之波長於不同的角度上產生繞射極大，一切波長之同一

指定級的一組極大，構成一光譜（*spectrum*），如是，我們具有第一級光譜、第二級光譜……等等。注意，波長越長，指定級光譜之偏向（*deviation*）亦越大。所以紅光之偏向較之紫光爲大，此與光被稜鏡色散時相反。

繞射光柵在光譜分析上甚爲重要，它能分析電磁譜區域上一廣大範圍，且有數個特殊的優點勝過稜鏡，繞射光柵與物質的色散性無關。

【透射映畫器】（Diascope）

用太陽能放映電影之機器，稱爲透射映畫器。

【透射係數】（Transmission coefficient）

透射係數爲一束粒子穿過位壘（*potential barrier*）時，透過粒子與入射粒子的比值。玆以簡單的一維方形位壘爲例，討論透射係數的計算情形。

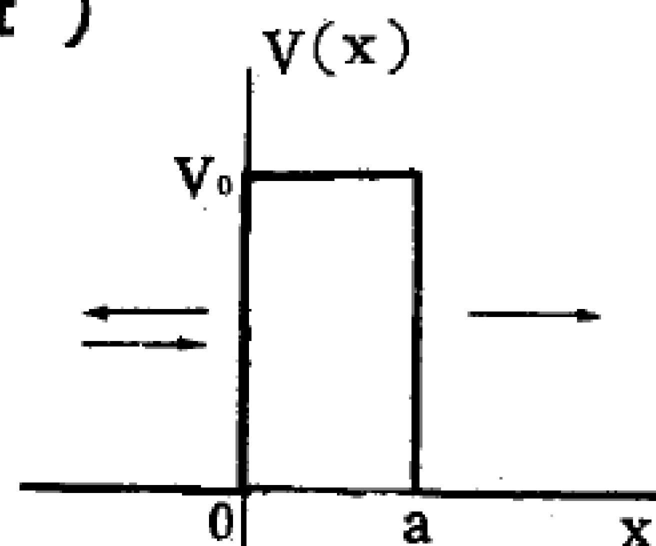


圖 11 — 165

圖 11 — 165 示一維方形位壘，位壘函數 $V(x)$ 爲

$$V(x)=\begin{cases} V_0>0 & 0<x<a \\ 0 & x<0 \text{ 或 } x>a \end{cases}$$

當粒子射束自左而右進行時，受到位壘的影響，一部分反射回去，一部分穿過位壘。現在考究入射、透射及反射的情形，討論在 $V(x)=0$ 之處（不計 $0<x<a$ 之間的波函數），波方程式爲最簡單的形式，即

$$\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2u}{dx^2}=Eu\ (\ x\leqq 0 \text{ 或 } x\geqq a\ )$$

其解爲 $$\begin{cases} U(x)=Ae^{ikx}+Be^{-ikx} & x\leqq 0 \\ U(x)=Ce^{ikx} & x\geqq a \end{cases}$$

式中 e^{ikx} 及 e^{-ikx} 分別代表沿正 x 方向及負 x 方向行進的平面波。

在 $0\leqq x\leqq a$ 時，若 $E>V_0$，則

$$U(x)=Fe^{i\alpha x}+Ge^{-i\alpha x} \qquad 0\leqq x\leqq a$$

式中$\alpha=[2m(E-V_0)/\hbar^2]^{\frac{1}{2}}$。邊界條件要求在$x=0$及$x=a$處$u$及$du/dx$應連續，由此可以消去$F$及$G$，求得

$$\frac{B}{A}=\frac{(k^2-\alpha^2)(1-e^{2i\alpha a})}{(k+\alpha)^2-(k-\alpha)^2e^{2i\alpha a}}$$

$$\frac{C}{A}=\frac{4k\alpha e^{i(\alpha-k)a}}{(k+\alpha)^2-(k-\alpha)^2e^{2i\alpha a}}$$

其絕對值的平方分別稱爲反射係數及透射係數。

$$\left|\frac{B}{A}\right|^2=[1+\frac{4E(E-V_0)}{V_0^2\sin\alpha a}]^{-1}$$

$$\left|\frac{C}{A}\right|^2=[1+\frac{V_0^2\sin\alpha a}{4E(E-V_0)}]^{-1}$$

當$E\to V_0$時$|C/A|^2\to(1+mV_0a^2/2\hbar^2)^{-1}$，當$E$漸漸增加時，則透射係數呈緩慢的振動形式增加，至到達一爲止。

若$0<E<V_0$時，則以上各式中α均以β代之

$$\beta=[\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}]^{\frac{1}{2}}$$

此時透射係數爲

$$\left|\frac{C}{A}\right|^2=[1+\frac{V_0^2\sin\beta a}{4E(V_0-E)}]^{-1}$$

【透視式投影】(Diascopic projection)

透視式投影可分下列二種情形：

1. 水平透視式投影——此爲將透明物體投影時使用的普通方法，如放映幻燈片。裝置由光源、聚光透鏡與投影透鏡等構成(如圖11—166)。聚光透鏡將把光源像投影於投

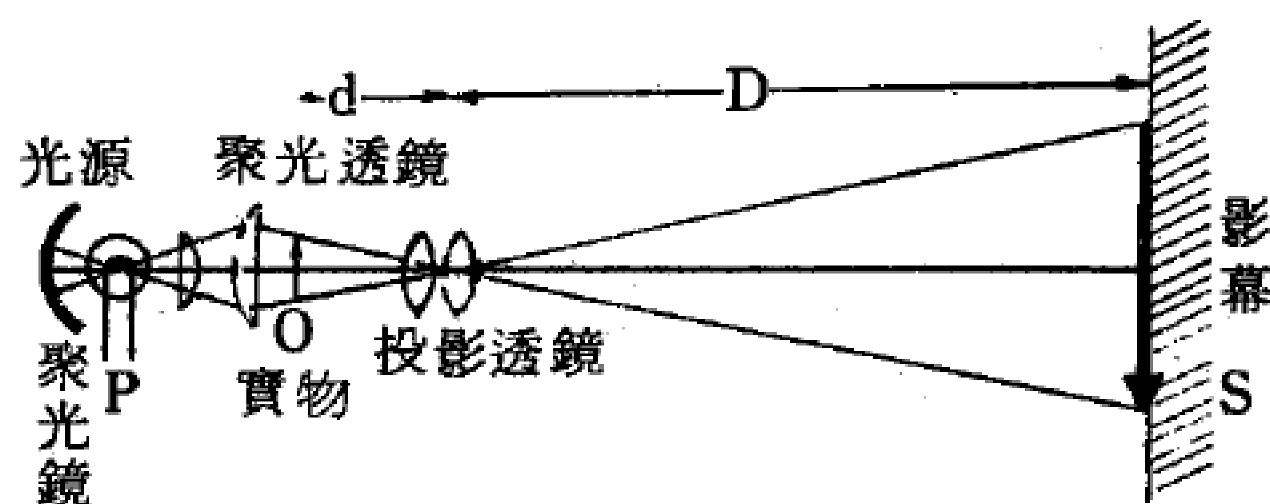


圖 11 — 166

射透鏡的開口部，而投影透鏡將把置於聚光透鏡前物體的像投影於影幕上。設像的放大率為m，則$m=\frac{D}{d}$，又設投影透鏡的焦距為f，則$\frac{1}{f}=\frac{1}{D}+\frac{1}{d}$，因此$m=\frac{D-f}{f}$。一般$D$比$f$大很多，因此實際上可認為$m=\frac{D}{f}$。

2. 像的正立——影幕上的像為倒立像。如在水槽投影的實驗，必須使像正立。欲使像的反轉可使用臺形三稜鏡，但使用如圖 11 — 167 兩面平面鏡互相垂直方向配置的裝置較為簡便。此平面鏡應使用表面反射的鏡子，不過實用上也可以把良質的照相乾板玻璃後面鍍銀使用，但像的情形會差些。

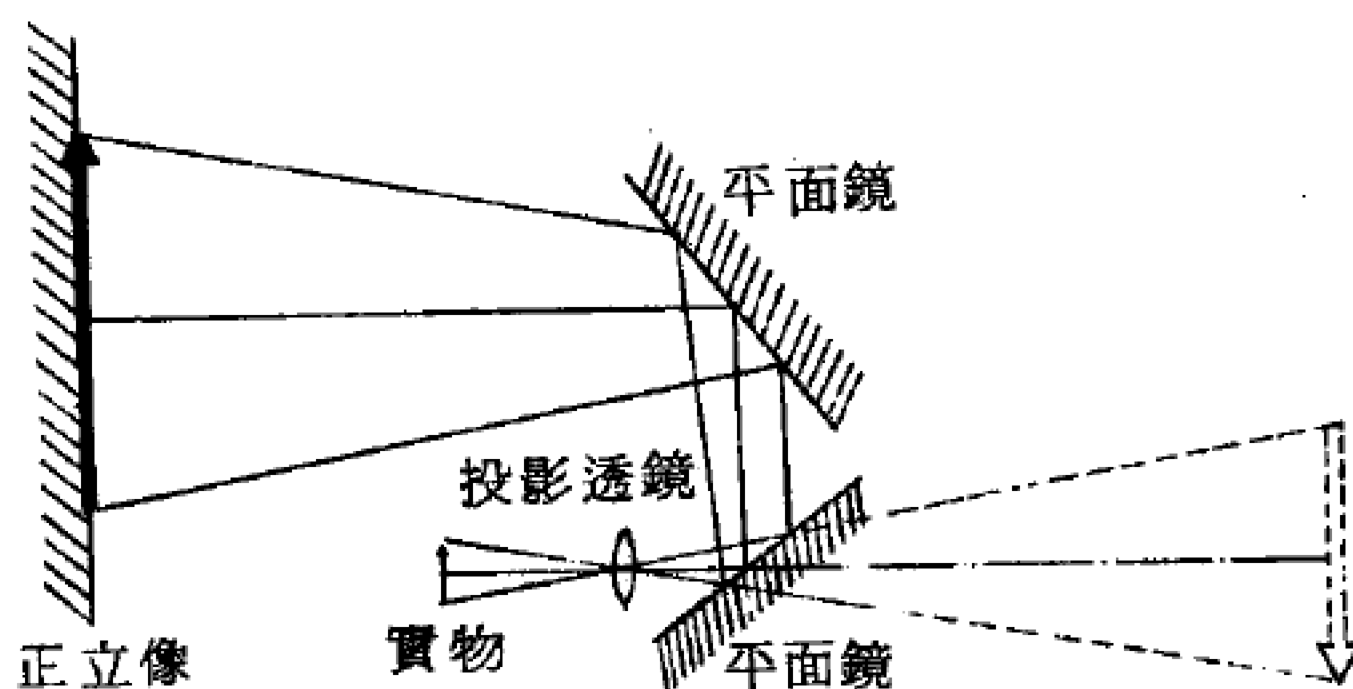
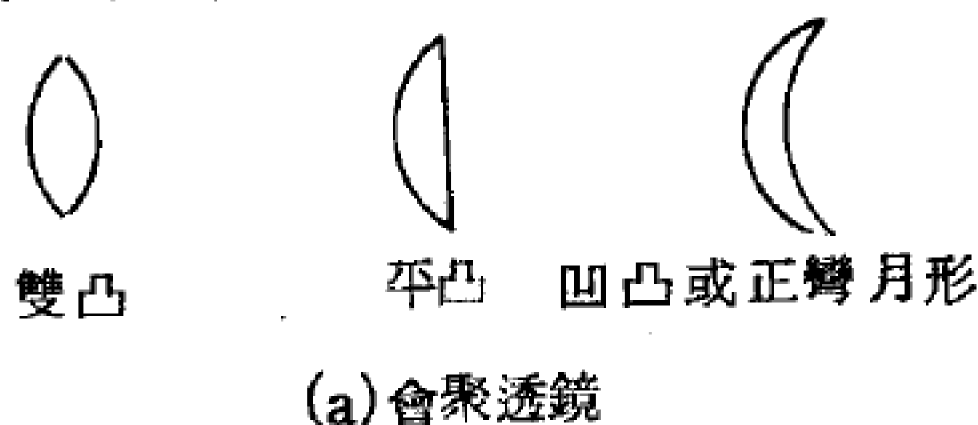


圖 11 — 167　像的正立

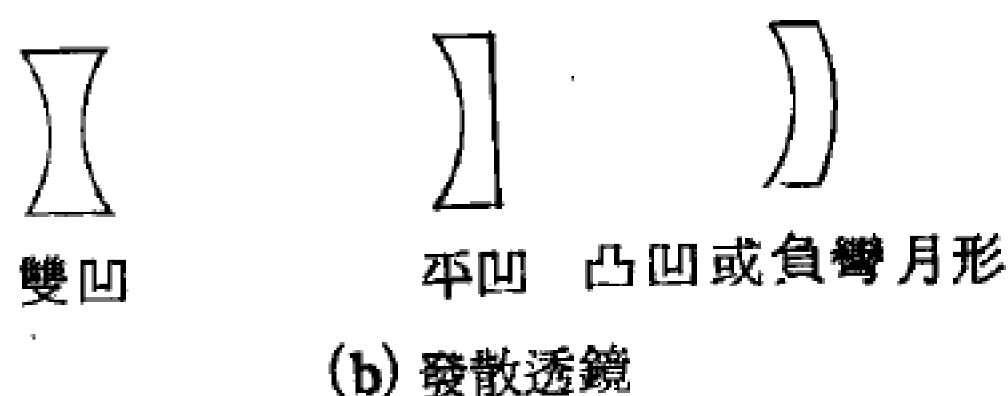
【透鏡】(Lens)

1. 由一片或多片玻璃或其他透明物質所組成的光學組件。其表面的曲度（通常都是球面）使物體所發出的輻射通過透鏡後會形成物體的像（實像或虛像）。簡單透鏡是由一片透明物質所製成。主要的簡單透鏡有如圖 11 — 168 所示之數種。

凸透鏡相當於反射鏡中之凹面鏡，具有實焦距，故又名會聚透鏡（*convergent lens*），平行光線入射於會聚透鏡的，不論是那一面對向光源，總是在後面會聚於一焦點。



(a) 會聚透鏡



(b) 發散透鏡

圖 11 — 168

凹透鏡相當於反射鏡中的凸面鏡，具有虛焦距，故又名發散透鏡（*divergent lens*），一切射入的平行光線，總是從發散透鏡後面向各面散射。

2. 電子光學上透鏡是用以產生電子射束圖樣的電場或磁場之組合。

3. 磁透鏡是線圈和磁鐵的配合結構，藉磁場對電子產生聚焦力。

【透鏡中心】（Center of lens）

主軸與透鏡兩曲面相交，所成線段之中點，稱爲透鏡中心。

【透鏡之主軸】（Principal axis of lens）

連接透鏡兩球面中心之直線即爲透鏡之主軸。

【透鏡之光心】（Optical center of lens）

一光線經過透鏡時，其入射線如恰與出射線平行，則其在透鏡內之一段與主軸的交點，謂之光心。經過光心之光線，其入、出射線必相平行（即不改向）。但有旁位移，透鏡甚薄時，此旁位移即甚小，故薄透鏡可以認爲經過光心之光線，直線前進，不生折射。

【透鏡之組合】（Combination of lens）

將兩透鏡合成爲一個透鏡系統，其效用如同單一透鏡的效用。這合成的透鏡系統之總焦距可以下式算出，即將兩透鏡焦距乘積除以兩焦距之和再減去透鏡距離：

$$總焦距=\frac{焦距1\times 焦距2}{焦距1+焦距2-透鏡距離}$$

如同色像差透鏡和惠更斯目鏡一樣，以數個透鏡合成的透鏡系統常代替單獨一透鏡，因爲如果透鏡系統中的各單獨透鏡彼此有相稱的疊合，則可以消除色像差、球面像差以及其他的單獨透鏡缺點。

【透鏡之副軸】（Secondary axis of lens）

經過光心的任何直線稱爲透鏡之副軸。

【透鏡公式】(Lens formula)

一般在求解有關透鏡成像問題時，所用的公式，稱爲透鏡公式，即

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

其中 p 爲物距，q 爲像距，f 爲焦距。物距是物體到鏡的距離；像距是像到鏡的距離；焦距是焦點到鏡的距離。

透鏡公式中，凸透鏡(*convex lens*)的焦距是正的，凹透鏡(*concave lens*)的焦距是負的。物距都取正號。像距爲負時，是在與物體同一側得一虛像(*virtual image*)。

【透鏡度】(Power of lens)

即透鏡焦距之倒數，又稱焦度。由此數值可知透鏡聚、散光之本領。

會聚透鏡之焦距愈小者，其會聚光線之能力愈強；而發散透鏡之負焦距愈小者，其發散光線之本領亦愈大。透鏡度之單位爲度，度即表示焦距爲 100 厘米時的透鏡度。設某一透鏡之焦距爲 25 厘米，則其透鏡度爲 $\frac{100}{25}=4$ 度。如令 i 表透鏡之透鏡度，則 i 可自下式算出：

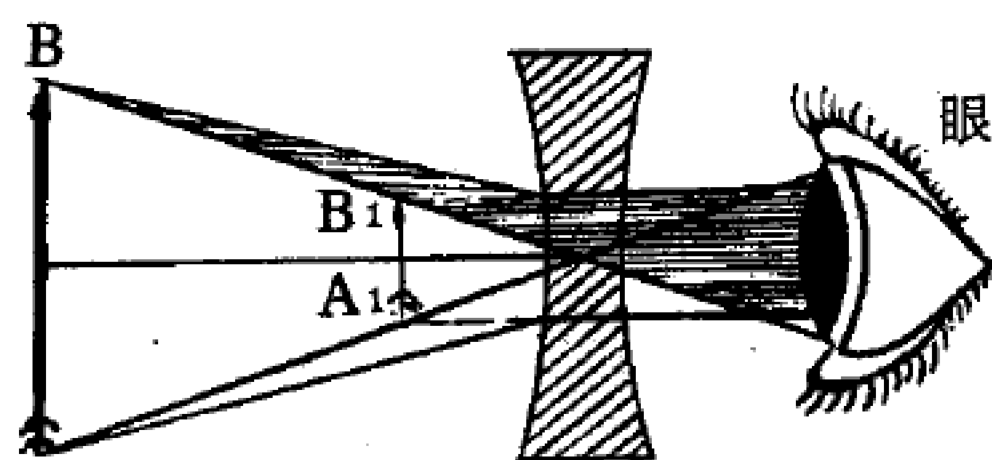


圖 11 — 169
發散透鏡之縮小本領

$$i=\frac{100}{f}$$

式中之焦距須以厘米計之。發散透鏡之透鏡度爲負數。例如，一個－5 度的發散透鏡，其焦距即爲－ 20 厘米。如將數個透鏡前後疊放，則其總透鏡度約等於各數之和。故兩個分別爲 3 及 4 度的會聚透鏡，其作用相同於一個 7 度的透鏡。

【透鏡像差】(Lens aberration)

一般由幾何光學所推論出物距、像距、焦距、曲率半徑等之間的簡單關係方程式，都是假設所有光線和光軸相交角度極小而得的近似值。不過，就一般情況而言，透鏡之造像，並不限於在軸上之點，非順軸光經透鏡折射後，也不均在同一點相交，故所造成之像，很難清楚明晰。此外由於折射率係隨波長而變，如果發自一物之光非爲單色者，則透鏡將會造成許多有色之像，分居不同位置，各有不同大小。

以上所說實際之像，與理論所預測之像間的差異，便稱爲透鏡像差，主要有三種：(1)由於鏡面邊緣折射的光不與鏡面中心折射的光交於一點，如此所形成的像差，稱爲球面像差（*spherical aberration*）。(2)因各色光波長不同，折射率因之而異，於是各色光成像不在同一點，這便是色像差（*chromatic aberration*）。(3)彗形像差（*coma*），與球面像差相似，都是因爲透鏡不能使中心光線和外層光線在同一點造像，不過球面像差關係於透鏡軸上之點，而彗形像差則關係於不在軸線上之點的成像，其結果爲點物體會成一彗星形的像。

【部分偏振光】（Partially polarized light）

光的偏振往往不會很純，換句話說，有偏振程度不等的中間型態存在。例如一瓦特的偏振光和一瓦特的非偏振光混合一起，便形成了部分偏振光，而其偏振程度是1／2或 50％；廣義的說，一功率 I_p 瓦特的偏振光和 I_u 瓦特的非偏振光混合，則偏振程度便是$I_p/(I_p+I_u)$，這便是部分偏振光之定義，習慣上用來表示偏振化程度的大小。

【部分熱平衡】（Partial thermal equilibrium）

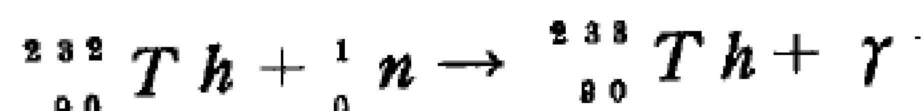
詳閱“熱力學第零定律（*The zero law of thermodynamics*）”條。

【釷】（Thorium；Th）

釷爲輕度放射性元素，半衰期爲 140 億年，原子序爲 90，原子量232.04。爲作成 ^{233}U（三種主要可分裂物質 ^{235}U、^{239}Pu、

^{233}U 之一）的原料。

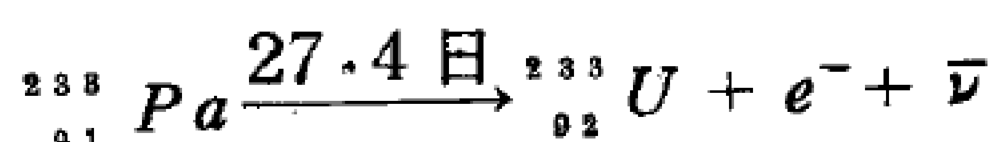
置釷於反應器中，吸收中子，經兩次 β 衰變後生成 ^{233}U



$$^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{233}_{90}Th + \gamma$$



$$^{233}_{90}Th \xrightarrow{23.5分} ^{233}_{91}Pa + e^{-} + \bar{\nu}$$



$$^{233}_{91}Pa \xrightarrow{27.4日} ^{233}_{92}U + e^{-} + \bar{\nu}$$

釷在自然界的儲量約三倍於鈾，僅有 ^{232}Th 同位素存在於礦藏中，金屬釷可用 ThO_2 或 ThF_4 還原而得金屬粉末，其熔點達 1,850°C。在 1,400°C 以下釷尚無相態改變，其晶格有兩類（α = 立體的面心晶格及 β = 立體的體心晶格）。釷的應用限制是因其較小的抗彎曲強度，此點或可由其合金特性予以改善，惟因釷原子本身顆粒甚大，僅有少數金屬可與之多量結合。因釷爲粉末狀產生者，故可以冷壓法再在 1,400°C 下使之硬化而成形。

直熱式陰極常塗上釷元素的氧化物，此乃因其負電子特別豐富之故。

【釷化燈絲】（Thoriated filament）

鎢質燈絲，外塗少量釷稱爲釷化燈絲，其目的在增強發射電子效能。

【釷系】（Thorium series）

由釷 - 232放射衰變所形成的一系列核種。許多人工核種衰變到這個系列中，這個系列在自然界的最終產物是鉛 - 208。

參閱“放射系（*Radioactive series*）”條。

【釩】（Vanadium；V）

原子序爲23的金屬元素。

【釤】（Samarium；Sm）

原子序爲62的稀土金屬元素。

【釹】(Neodymium ; Nd)

原子序爲60的稀土金屬元素。

【閉心式變壓器】(Closed core transformer)

變壓器之鐵芯環繞一定面積，而成功一閉路磁場。

【閉合軌層】(Closed shell)

當一能階是完全填滿時，稱爲閉合軌層。電子組態所形成的閉合軌層其電子數目分別爲〔*He*〕2個電子，〔*Ne*〕10個電子，〔*Ar*〕18個電子，〔*Kr*〕36個電子，〔*Pd*〕46個電子，〔*Xe*〕54個電子等，也就是和原子序相同。

【閉合電路】(Closed circuit)

接續導線之兩端，使電流得循環通過其中，謂之閉合電路，或連續電路。

【閉循環反應器系統】(Closed-cycle reactor system)

在諸種反應器中有一種設計，能把分裂所產生的原始熱經一完全封閉的冷卻劑(*coolant*)循環系統，利用熱交換器(*heat exchanger*)傳遞到反應器核心外去做有用的功，這種循環系統稱爲閉循環反應器系統。

【陸末、布若洪光度計】(Lummer-Brodhun photometer)

此光度計是由陸末及布若洪兩人研究成功的。在不同距離測定光之強度

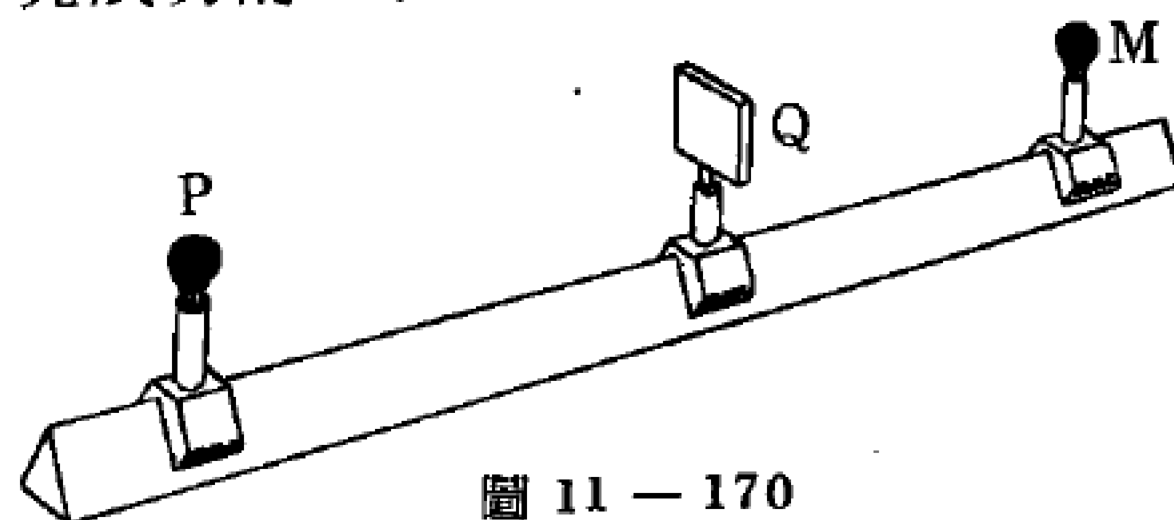


圖 11 — 170
Q板兩側分別爲P燈及標準燈M照明

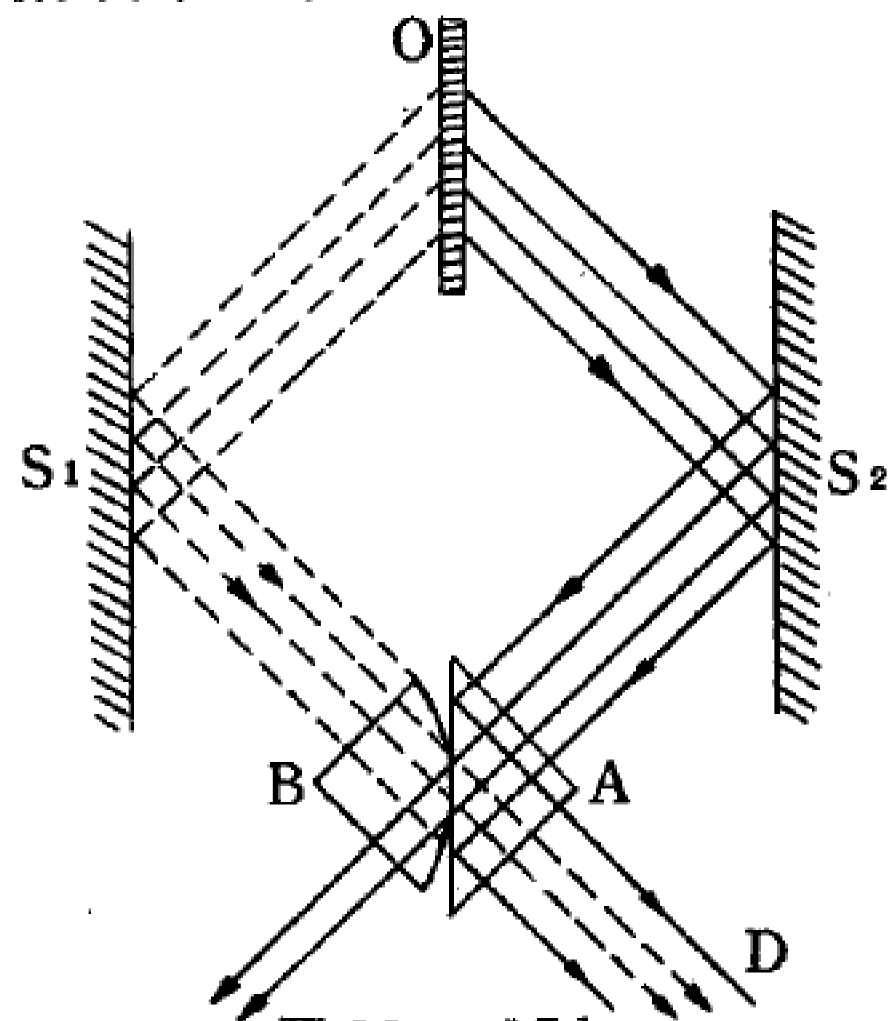


圖 11 — 171
依據陸末及布若洪兩氏方法比較照度強度

，開始時用燈P，俾測定其光強度。另用一燈M做爲標準，安置如圖11—170所示在一軌道上，沿此軌道可以移動。兩燈間軌道上有一小板Q，其表面塗敷一層白色氧化鎂，此白色層可將該板置於白色的燃燒鎂蒸氣中，由Q處調節兩燈之距離使兩側均同等照明，兩鏡安置在一盒中，使分別由Q板之一側收到光線。稜鏡形狀特殊所置之處可使兩條被反射之光柱彼此交叉。A爲一玻璃鏡，光線投射其上（由右側頂被A之斜邊完全反射至右側底部。B爲一稜鏡，形狀與A略同），其斜邊則不然，其中段甚簡單地呈圓形，而正中之平坦部分用透明膠著劑與A之斜邊相連接，光線落在B上由左側頂被其斜邊之圓形部分反射至左底部，但光柱之中央部分向右穿過接著部分，且通行無阻的至右底部，即謂光線由右上角落在A上被反射至右底角處，此乃僅利用圍繞接著片之部分光柱。落在接著片部分向右穿過，且消失在左底角中。今若由D注視此組合稜鏡，則將見中部光柱向右穿過，且此光柱之來源爲圖 11—170 中Q板之左側。

在此方式中所造成兩側相等的光亮可精確至1%，但光源必須以相同顏色來比較，始可得此精確度。若將紅色與藍色相比較，則不正確度可達 10%。

【陸末、革克板】（Lummer-Gehrcke plate）

一種干涉計由雙面平行的玻璃或石英板所製成。入射光經板面多次反射後，所透射出的平行光會產生高序數的干涉條紋。雖然其鑑別度很高，但由於高精度的陸末、革克板在製造技術上較爲困難，目前已大量被法布立、柏若干涉計（*Fabry-Perot interferometer*）所取代。

【陸圈】（Plutosphere）

陸圈爲地球主體，亦即狹義的地球，包括岩石圈（*lithosphere*）及重圈（*barysphere*）。岩石圈深達 1,200公里，主成分爲鹼、鹼土、鎂、鈣、鋁的矽酸鹽。由地表深至 60 公里爲矽酸鹽層，其上部 20 公

里內爲花崗岩(*granite*)·下部爲玄武岩(*basalt*);60～1,200公里爲榴閃岩質;1,200公里以下爲重圈,其主成分爲鐵、鎳及少量的硫。1,200～2,900 公里爲矽酸鐵及硫化鐵,2,900～6,370 公里爲鐵鎳。

【陶器】(Ceramic)

良好的絕緣體,常應用於發射管管座。

【陷阱】(Traps)

在晶體中能捕捉電子或具有電洞的原子或缺陷,而被捕捉的電子或電洞隨時間的變化可能再被放射出去,我們稱之爲陷阱。陷阱可分爲兩類:一類的作用和再結合中心(*recombination centers*)一樣,能使電子和電洞再結合,故有助於熱平衡的恢復;另一類只能影響一種符號的帶電體的自由運動,因爲它只能由再放出所捕捉的電子或電洞而變空(*empty*),卻不能由於捕捉另一電洞(或電子)而變空。

【陷波器】(Band trap)

利用一諧振電路排除某一強力電臺的裝置稱爲陷波器。

【陷聲器】(Sound trap)

在電視接收機中,加入一陷波電路稱爲陷聲器。其目的將雜在畫像信號中的聲音信號除去。

【陰向離子】(Cation)

向陰極移動之離子名爲陰向離子,亦稱陽離子。

【陰極】(Cathode)

發射電子的電極,叫做陰極,是一帶負電壓的電極。電子管或射線管內,飛越著的電子應當受到正電場的加速作用,而發射電子的電極本身則具有負的電壓,所以它便被稱爲陰極。在電子儀器內,爲了發射電子,陰極應當加熱。在直熱式電子管裏,就用加熱的燈絲作爲陰極。在旁熱式電子管中,則用一個被給熱體加熱的專門電極作爲陰極,即所謂

旁熱式陰極。在某些工作於高壓狀態的儀器裏，採用冷放射現象而發射電子的陰極。在汞弧整流器（*mercury vapour arc rectifier*）內，陰極是液態水銀表面的一部分（即所謂陰極輝點），此部分稱為液體陰極。

【陰極加鍵】（Cathode keying）

發報機之電鍵裝在屏廻路陰極處，因陰極電路為屏路及柵路的公共電路，在此電路加鍵，可使輸出與輸入兩路同時開閉，此稱為陰極加鍵。

【陰極光線屏蔽】（Cathode lightshield）

收音機的調諧正確與否，可用電眼管來指示，該管常裝在機箱面板上，管內除陰極屏極及柵極外，還裝有電靶、射線控制極、螢光幕及陰極光線屏蔽，陰極光線屏蔽是用來遮蓋發熱體之紅光，使不遮住電靶之綠光。

【陰極注頻】（Cathode injection）

指接納本機振盪電壓的一種變頻級。本機振盪電壓是經由一電阻和電容器注入五柵變頻管的陰極者。

【陰極灼熱】（Cathode incandescence）

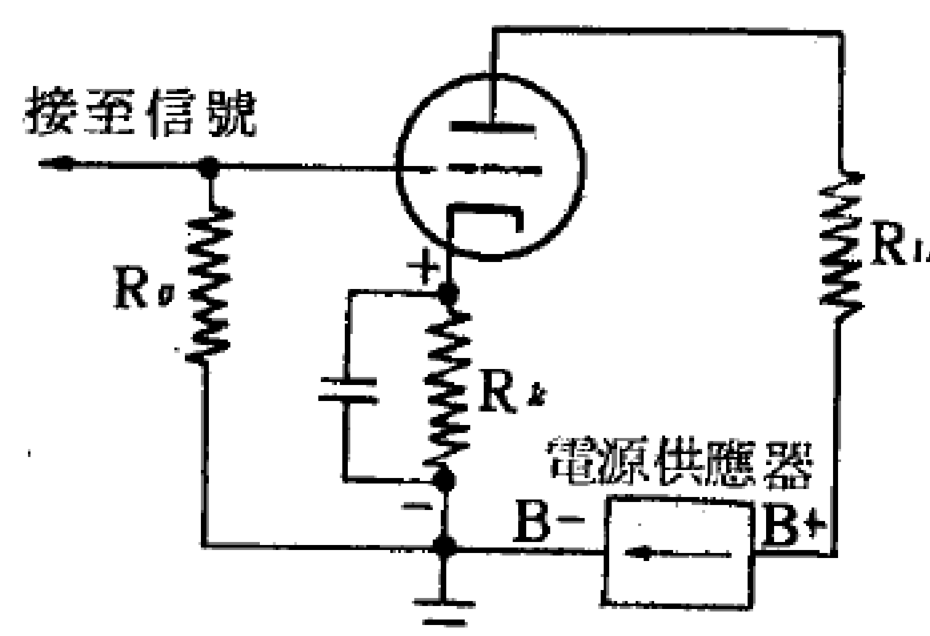
電子管之陰極加熱到一定的溫度，使得陰極能夠放射出為電子管正常工作所需的電子數。陰極灼熱通常是利用電流（燈絲電流）來實現，此電流或者直接經過陰極（此時陰極作成絲狀），或者經過專門用來加熱陰極的發熱器。第一種方法叫做陰極的直接加熱，第二種方法叫間接加熱。間接加熱的陰極也叫做旁熱式陰極。每個電子管的陰極都設計在完全一定的溫度下工作，也就是在一定的燈絲電流下工作。燈絲電流如高過所設計的正常值，則使陰極更迅速地用壞，而且常常會燒毀管子。如果燈絲電流小於正常值，則管子通常工作得不好，甚至不能工作。此外，在某些管子中，陰極加熱不夠時，不僅降低了它的工作質量，而且會縮短使用的期間。

【陰極負荷】(Cathode load)

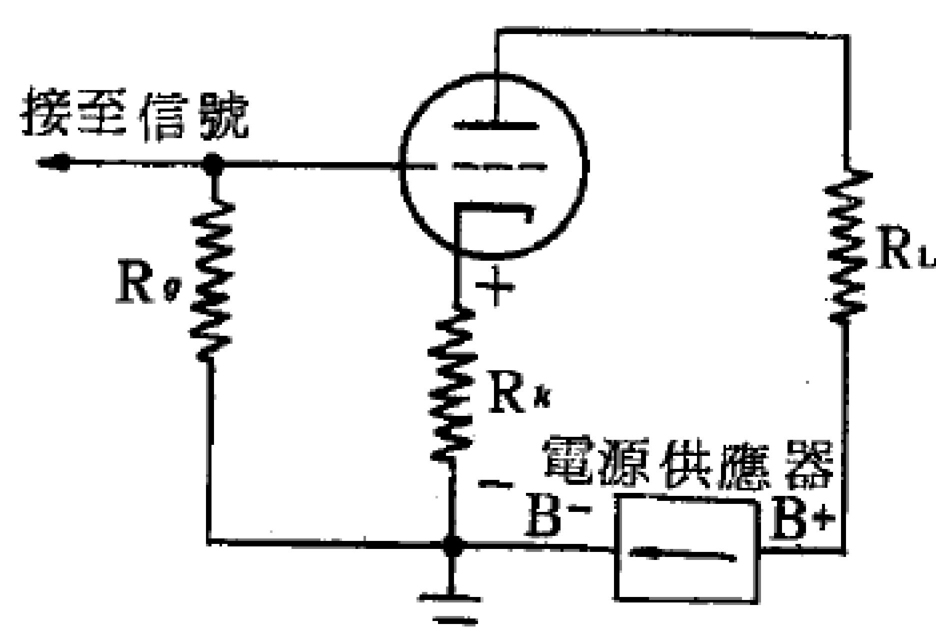
接於電子管陰極電路內的負荷，通常是具有有效電阻R_k。陰極電流通過負荷時，便在其上產生電壓降。陰極負荷和屏極負荷一樣，可以從電子管得出由於電子管屏極電流變化而產生的交流電壓。陰極負荷可以用在陰極輸出器內以獲取輸出電壓。

【陰極旁路電容器】(Cathode by-pass condenser)

陰極偏壓電阻器(*bias resistor*)通常和一電容器並聯，這個電容器叫做旁路電容器，它的功用在使陰極電阻器上保持一固定電壓。



(a)有陰極旁路電容器的三極管放大器



(b)無陰極旁路電容器的三極管放大器

圖 11 — 172

假定三極管用陰極偏壓工作，而不用旁路電容器(如圖 11—172)，如將信號加在柵極上，屏極電流將依照信號變化而變更。由於這是屏極電流，它流經陰極電阻器可產生偏壓，當屏極電流變更時，偏壓亦隨之變化。這變化的偏壓將減少柵極和陰極間的信號電壓。

如圖 11 — 173 中所示，有巔幅 6 伏特的交流電信號加在三極管的柵極上，三極管在無信號作用時有陰極偏壓 − 8 伏特。倘使偏壓保持定值，在負半週期間，信號係和偏壓相加，爲−(8+6)=−14 伏特，在正半週期間，則須由偏壓減去信號，爲−(8−6)=−2 伏特。以柵極對陰極電壓在−14 伏特至−2 伏特間變化，屏極電流將在−14 伏特時最小，在−2 伏特時最大。在這種情況之下，假定屏極電流

的變化，使陰極電阻上產生2伏特電壓變化。觀察其情況，當屏極電流增大時，陰極電壓亦增加(變更得負)，其結果可使柵極至陰極間的合成電壓減少。所以陰極電阻器上的電壓變化和輸入信號有180度的相位差，這兩電壓彼此相減，其結果使柵極和陰極間的有效電壓變化為(6－2)4伏特。

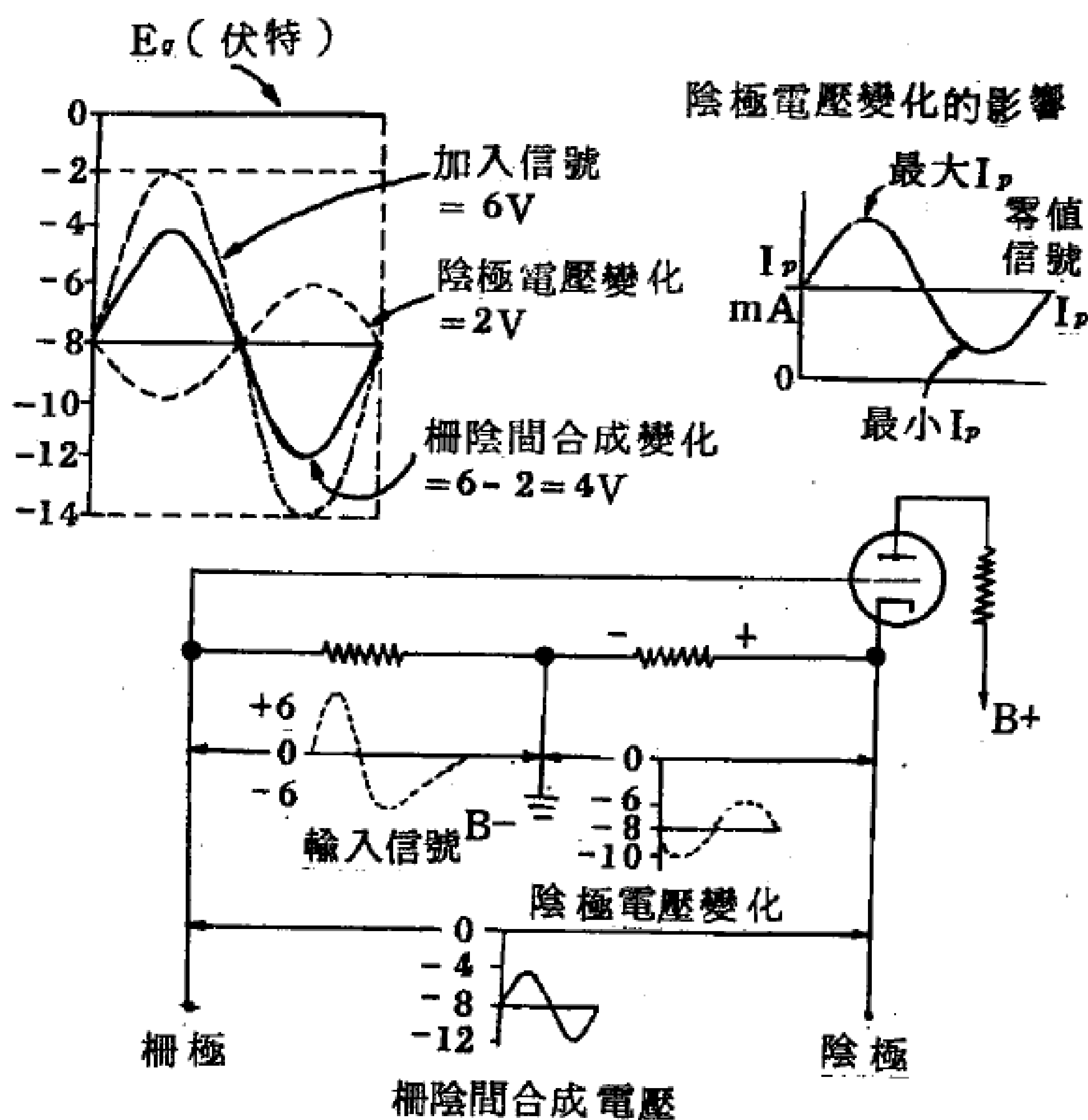


圖 11 — 173

換句話說，陰極電壓的變化抵銷信號電壓2伏特，這種效應叫做退化作用。要消除退化效應，在陰極電阻器上並聯一個陰極旁路電容器即可。倘使電容器選擇適當，它的電容抗應約等於電阻器大小的十分之一。因為電容器只能通過繼續變化的(交流)電流，穩定的(直流)電流部分則通過電阻器，變化部分交流則流經旁路電容器。由於電容器對變動電流的電容抗低，對變化電流而言，電阻器相當於短路，所以當信號作用在柵極時，可使電阻器上的電壓保持不變，而無信號被抵銷的情形發生。

【陰極射線】(Cathode ray)

陰極射線原先專指在低壓氣體放電管中，正離子撞擊陰極時自陰極放出的電子流。後來則泛指任何電子流，諸如加熱燈絲所放出的電子。

十九世紀下半期流行著研究稀有氣體的導電問題。圖 11—174 是典型的實驗裝置。管內充有某種低壓氣體(如空氣),在負電極(或陰極)和正電極(或陽極)間加高電壓,使電流在管內流過。並明顯地產生明暗相間的氣體電輝層。輝紋的確實情形,與氣體壓力、氣體成分以及電壓大小都有關係。傳導電流及使氣體發光的工作,都由游離化的氣體擔任,這是一系列複雜現象。當管內抽到甚低壓,0.01 mmHg 或更少時,便產生相當不同的現象。氣體的電輝停止(理由之一是因為只有極少氣體剩下)。然而安培計卻指示著仍有電流在管中流過。另外在管的一端,玻璃壁內面有一亮斑 S,此事也顯示管中仍有某種作用在進行著。在管壁一端所看到亮斑的大小和位置,與 D 和 D' 孔圈的大小和位置有關,其關係情形,暗示著亮斑是由質點射線造成的,離開陰極的質點以直線行進,最後打到玻璃壁上而生亮斑。支持這個設想的,還有一個顯明的證據,將一小固體物放在 D' 右邊,就會在管端亮斑處投上一個輪廓清楚的黑影,這是可以觀察得到的。在 D' 右邊區域,若有強電場或強磁場存在,亮斑位置就會受到影響,證明自陰極射到管壁的質點帶有電荷。從亮斑偏移的方向,指示質點之電荷為負的。這可由一個實驗來確定,在管內 S 處放一個絕緣的金屬箱,便觀察到箱上集有負電荷。這些質點自陰極行進的路徑和射線相似,故稱為陰極射線。

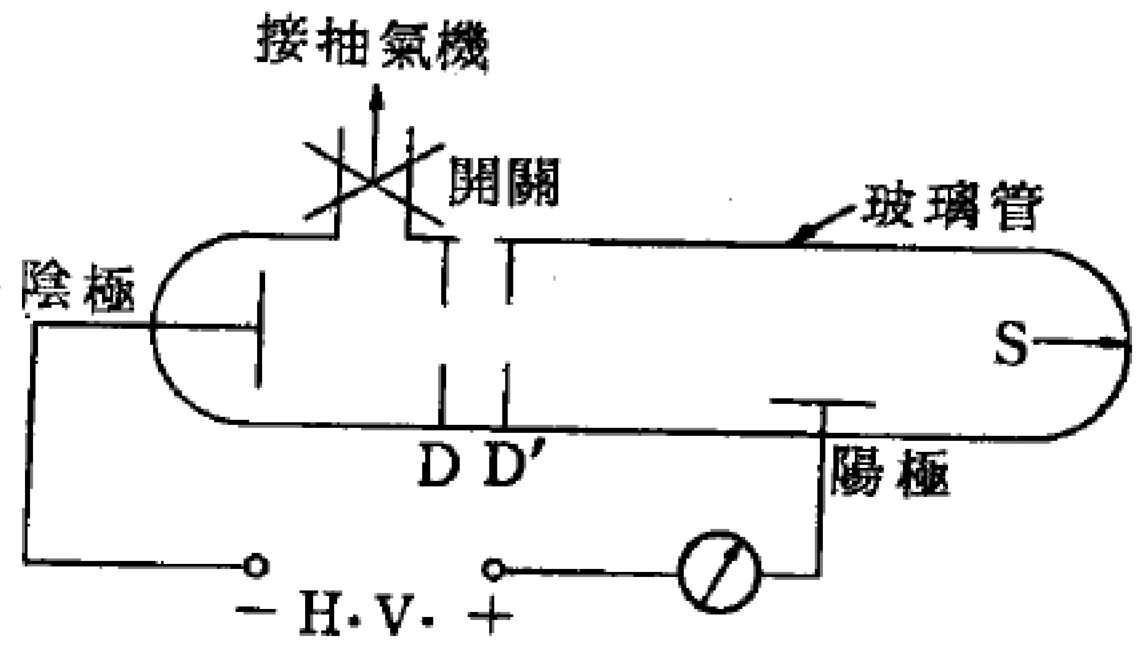


圖 11—174　陰極射線管

陰極射線除發生螢光作用外,從實驗尚知它具以下的性質:

1. 陰極射線沿直線進行,如於克汝克士管(*Crookes tube*)中置一障礙物(常用雲母製成),則其陰影於正對陰極的玻璃管壁上即可看見(如圖 11—175)。

2. 陰極射線有機械效應，若於陰極射線管之兩極間置一可自由轉動之小型輪扇，則陰極射線通過時，輪扇即轉（如圖 11 — 176 所示）。

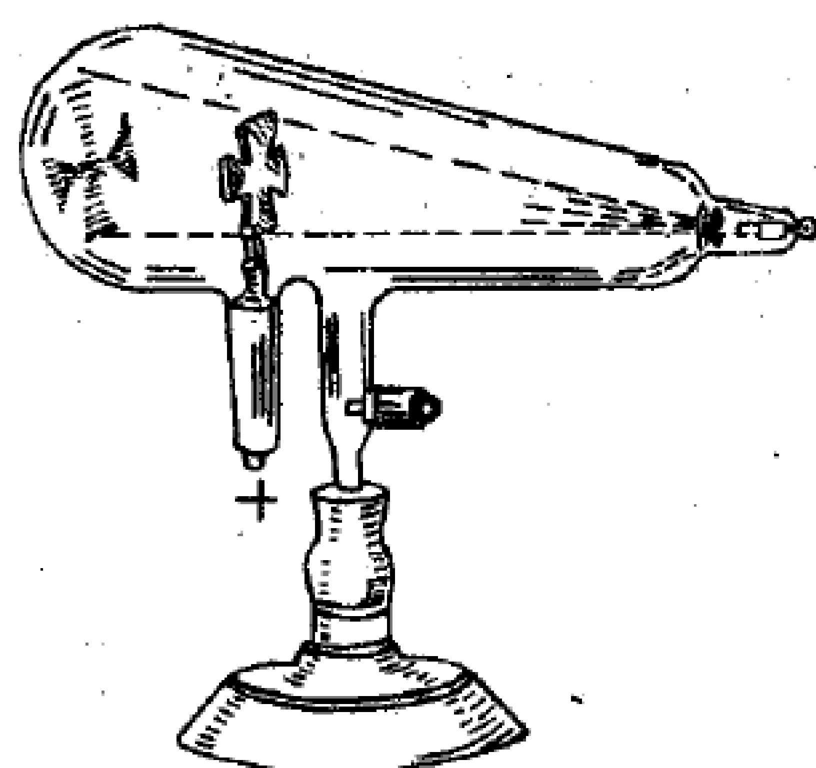


圖 11 — 175

3. 陰極射線具有熱效應，由於陰極射線沿直線進行，故若極板爲凹面者，則聚焦於一點，若於焦點處，置一鉑板，則鉑板因受射線之撞擊可熱至白熾狀態（如圖 11 — 177 ）。

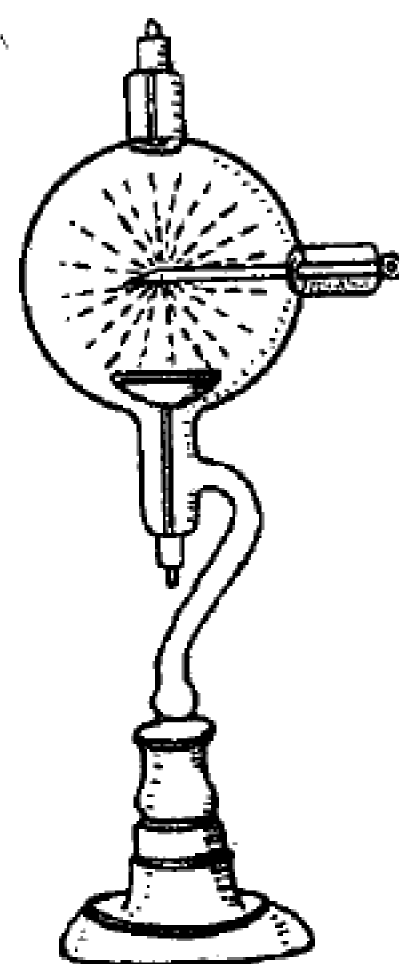


圖 11 — 176

4. 陰極射線能透過薄層物質，如以鋁或錫箔代替玻璃製爲低氣壓導電管，則陰極射線可放出管外，稱爲雷納管（ *Lenard tube* ）。

5. 陰極射線在磁場中或電場中會受作用而轉彎，這種作用的方向如在磁場中，則與磁場與電子運動方向垂直（如圖 11 — 178 ），如在電場中，則與電場同方向。

6. 陰極射線與克汝克士管內的氣體及組成電極之物質無關。


圖 11 — 177

由此等性質，吾人可得一結論，即陰極射線乃是帶有負電且與物質無關之質點（在原子物理學中亦稱質點爲微質點、微粒、粒子）所成的急流，此種質點很顯然是由組成物質的原子或氣體原子中逸出的，此種質點今日通稱爲電子（ *electron* ）利用陰極射線可以製造陰極射線示波器（ *cathode ray oscilloscope* ）。

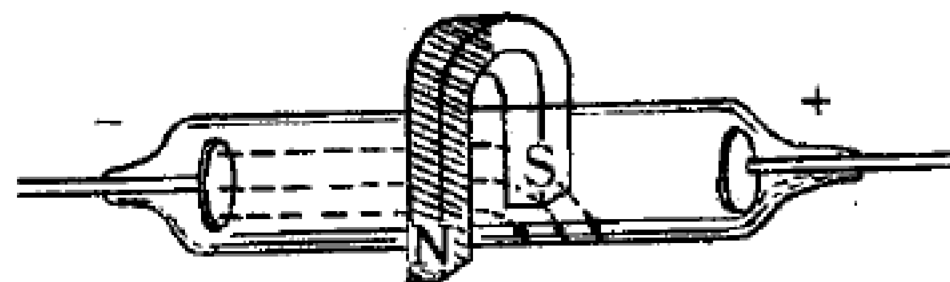


圖 11 — 178
陰極射線在磁場中受作用而轉彎

【陰極射線示波器】(Cathode ray oscilloscope)

陰極射線示波器(如圖 11—179 所示)係自熾熱燈絲發射電子，而經一電位差加速之重要實用儀器。在陰極板上有一小孔以傳送一細柱電子，此細柱電子再次第穿過兩個小型平行片電容器，第一對平行片使電子柱在圖中上下偏轉，第二對平行片則使電子柱作前後偏轉，亦即使電子柱偏轉垂直於圖面之方向上。當以一迅速變動之電位跨接於任一對平行片上時，射線即立刻尾隨偏轉，此項偏轉，即表示此變化之電位。通常有一對平行片係接一掃廻電路(*sweep circuit*)，亦即一與時間成正比而偏轉之電路。當偏轉至極限時，此射線瞬即返回原先之位置，重複此過程。另一對發生垂直偏轉之平行片，則跨接需要研究之變電位差，若要考察研究一週期性之變電位差，即調節此週期性之重複掃廻，使其與電位差同相，然後在屏上得見一穩定曲線，此曲線即代表電位與時間之關係。

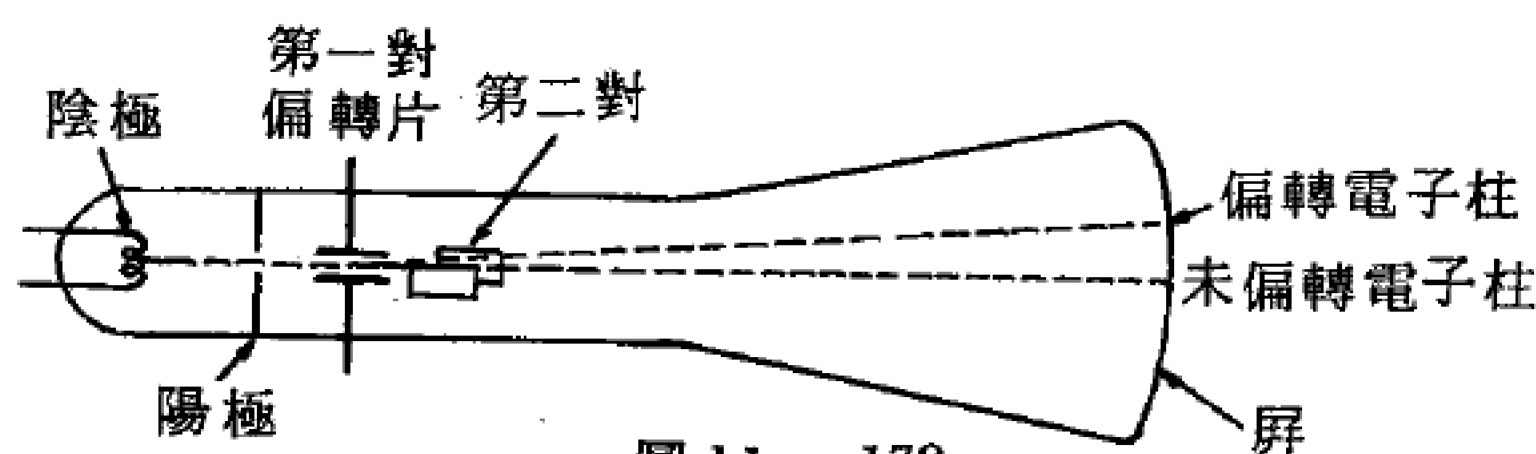


圖 11—179
陰極射線示波器

此設備之最大優點在其無慣性，因此可以使其用於射電頻率。故陰極射線示波器爲用於射頻電路之一種最有用與最靈巧之觀測設備。陰極射線示波器爲雷達(*radar*)指示器之一重要部分，亦爲電路分析工作所不可少者。在電視機中，無論係分音或分像，均用特殊形狀之陰極射線示波器。又陰極射線示波器亦普遍採用於記錄瞬時現象，例如一電火花、炮中之爆炸、內燃機中之燃燒。在生物學中，陰極射線示波器可用於心臟脈動與神經反應之研究。

【陰極射線管】(Cathode ray tube)

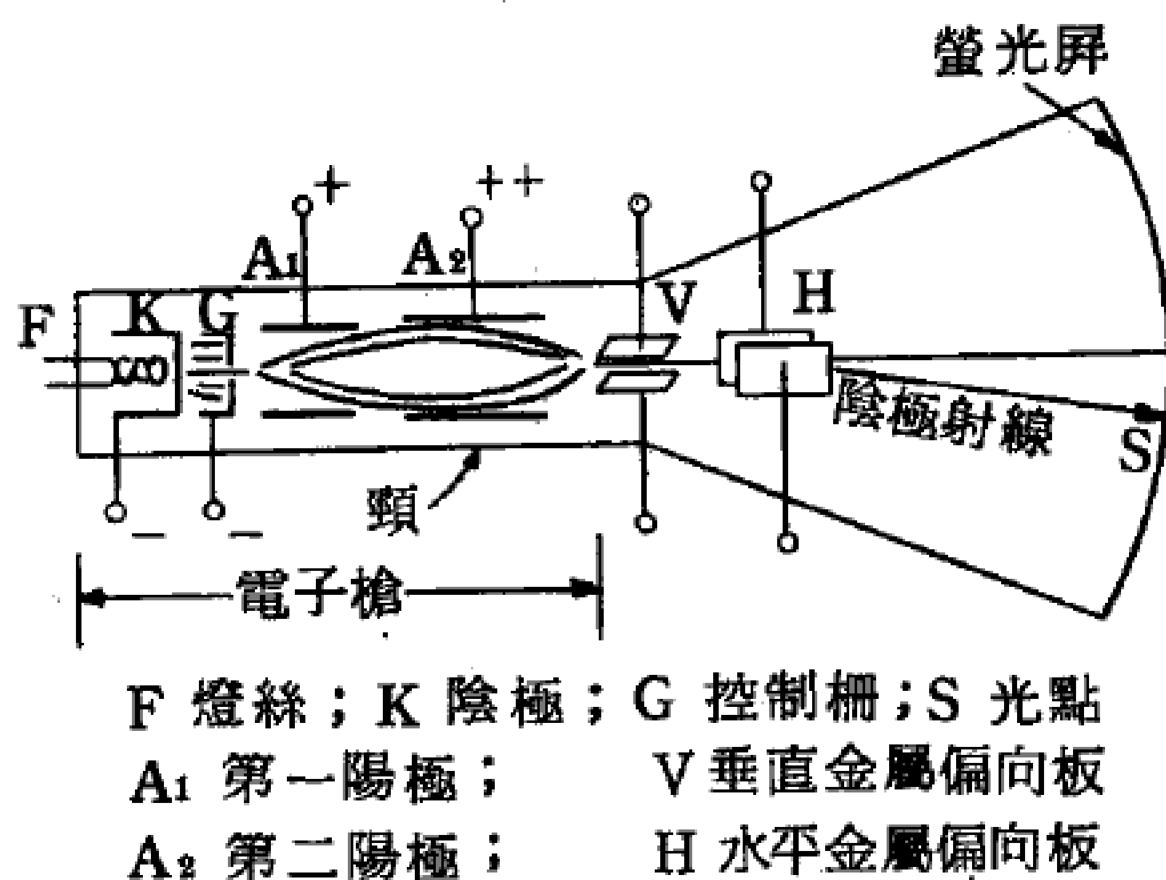
陰極射線管(簡稱 *C.R.T.*)，是電子管的特殊型式。陰極射線管亦

如一般的電子管一樣，其陰極可放出相當多的電子。由於陰極射線管的特殊設計，使其電子成爲一個高速的電子束（陰極射線），射到屏幕（*screen*）上。由於屏面塗有螢光材料，當高速電子束射到此螢光幕，幕上就顯示一光點。在未達螢光幕前，電子束可受高靜電場或高磁場的作用，改變運動的方向。陰極射線管之構造如圖11—180 所示，其包含三個基本部分：

1. 電子槍（*electron gun*）——此槍放射電子，使其加速，並聚焦成非常細的電子束。

2. 偏向系統（*deflecting system*）——利用電場或磁場，隨所需顯示在螢光屏上的外加信號，電壓或電流大小，使電子束產生偏向現象。

3. 螢光屏（*fluorescent screen*）——當電子束打在此屏上，就呈現一可見的光點。



F 燈絲；K 陰極；G 控制柵；S 光點
A_1 第一陽極；　V 垂直金屬偏向板
A_2 第二陽極；　H 水平金屬偏向板

圖 11 — 180
陰極射線管

一般陰極射線管的長度約爲10～20吋，螢光屏的直徑從儀器用的1吋到電視機所用之 24吋不等。電子束加速電壓有800伏特到約12,000伏特，此電壓的變化視陰極射線管的大小而定。

最爲大家所熟悉的一種陰極射線管，是電視收像管或簡稱收像管，此管可將視頻信號（*video signal*）變爲可見的圖像。陰極射線管有不同的種類、大小及形式等，但將視頻電波信號，變爲可用肉眼看見的信號之特性，則大致相同。

大部分的電子管，都是利用從陰極流向屏極的電子流量與強度，以形成可用的屏流。從陰極放射電子的方法很多，但其目的都是爲了產生

盡可能大的屏流，而陰極射線管則自成一格，其電子流的強度不如電子流流動的方向重要。由於管的幾何形狀及能使電子流偏向的裝置，可將電子流集中成一電子束，隨需要而改變流動的方向，並且在被打擊到的物體上形成一個點。此管主要應用在電壓和電流波形成的顯示及量度；電視圖像之顯示以及雷達的指示器。

陰極射線管的偏向系統有兩種類型，即靜電致偏系統和磁致偏系統。

靜電致偏系統由兩對致偏板（*deflecting plate*）組成。此兩對致偏板是安置在電子束的道路上，而使得兩對板所產生的電場互相垂直。如果在致偏板之間有電場存在，則此電場作用於電子上的力便使電子束發生偏轉。所以向某一對板加以電位差，就可以使得電子束在某一個方向內發生偏轉。電子束偏轉的大小決定於板上所加電壓的大小。電容器板上的電壓越大，電子束的偏轉就越大。

在用於電視的射線管內，水平放置的一對板叫做幀致偏板（使電子束作上下偏轉）。與第一對板相垂直的第二對板叫做行致偏板（使電子束作左右偏轉）。加至第一對致偏板的是交變的鋸齒形電壓，其頻率等於所採用的幀數；第二對致偏板上所加電壓的頻率則等於幀數與每幀行數的乘積。

磁致偏系統由兩對線圈組成，兩對線圈所產生的磁場互相垂直並與電子束垂直。這些線圈裝在管子頸部的外面，流通於線圈中的電流產生磁場，使電子束發生偏轉，其情形與靜電致偏系統中的兩對致偏板相似。

【陰極偏壓】（Cathode bias）

在所有偏壓系統中，陰極偏壓是用得最廣的一種。把一個電阻器從 $B-$ 或地連至陰極而與眞空管串聯，便可得到陰極偏壓。陰極偏壓如圖 11—181 所示，其中有一電阻器（R_k）連接在眞空管的陰極電路，陰極和

地之間。所有流經眞空管的電流均由 *B*－端流經陰極電阻器，因此在陰極電阻器上產生 *IR* 電壓降，使陰極較地爲正。由於柵極經 R_g 接地，而地較陰極爲負；所以柵極亦較陰極爲負。

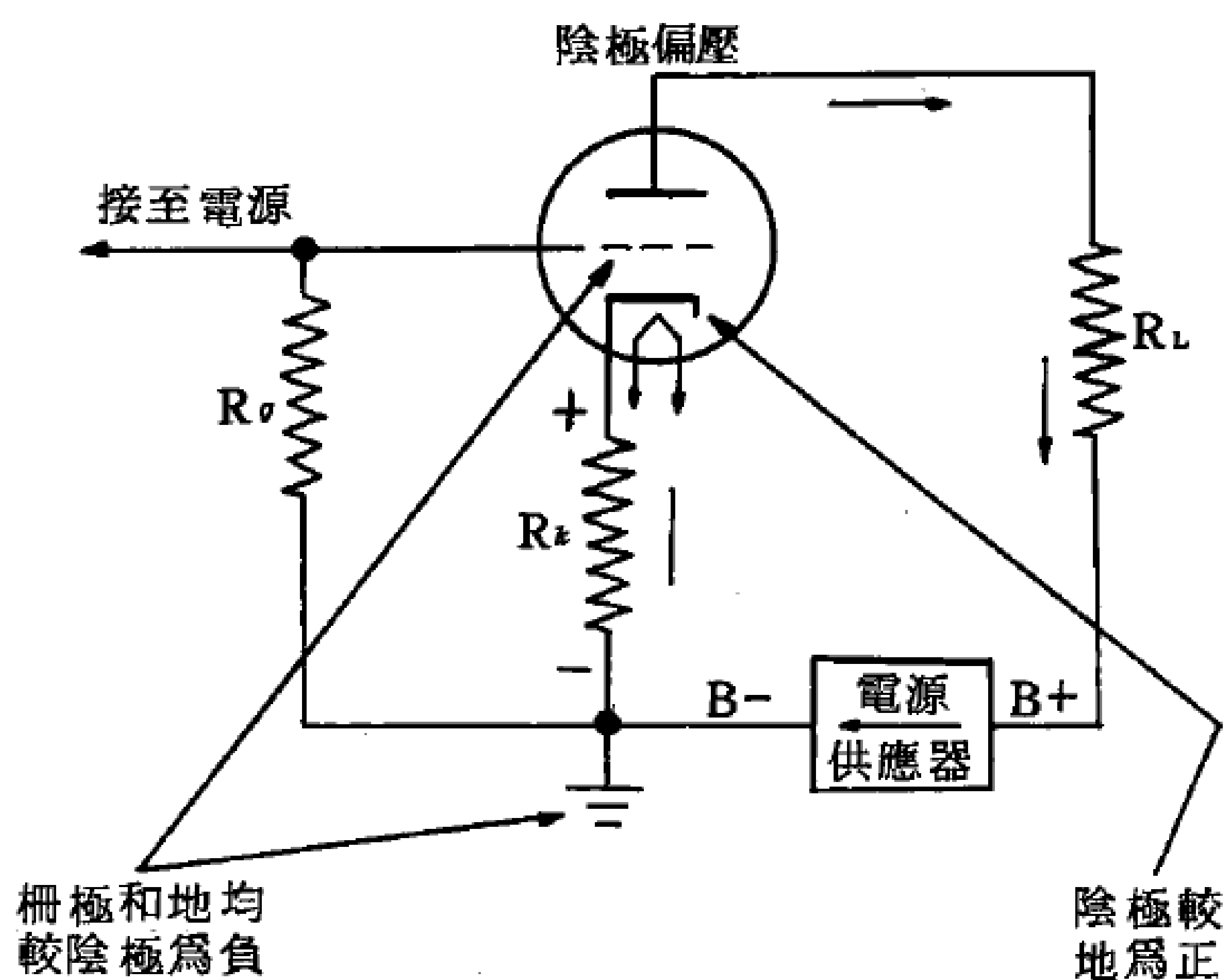


圖 11—181

【陰極暗區】(Cathode dark space)

在氣體放電管中，陰極電輝與陰電輝之間的暗帶，稱爲克汝克士暗區 (*Crookes dark space*)或希陶夫 (*Hittorf*) 暗區，此即爲陰極暗區。

【陰極電位】(Cathode potential)

測量電子管各電極電壓的基準電位。

【陰極電阻器】(Cathode resistor)

連接於陰極的電阻器，稱爲陰極電阻器。欲決定陰極電阻器的大小，僅需將所需的偏壓除以屏極電流即可。

【陰極電流】(Cathode current)

電子管中，陰極負荷電路中的電流稱爲陰極電流。陰極電流的大小可能與屏極電流不同，因爲決定陰極電流強度，不僅有落於屏極的電子數目，還有落於電子管其他各個電極 (所有柵極) 的電子數。

【陰極調制】(Cathode modulation)

聲頻耦合於被調管之陰極電路上，稱為陰極調制。

【陰極耦合】(Cathode coupling)

兩個電子管因陰極電路內具有公共電阻 R_k 而產生的耦合。其中一個電子管的陰極電流變化時，使得電阻 R_k 上的電壓降發生變化。因此也就使第二個電子管的陰極電壓發生變化，亦卽使該管柵極和陰極之間的電壓發生變化。

【陰極耦合器】(Cathode follower)

負載連接在陰極電路上的放大級叫做陰極耦合器，如圖 11—182 所示。

無旁路電容的陰極電阻對電子管工作有負反饋作用，其負反饋係由接於陰極與屏極電源負極之間的電阻 R_k 而獲得。輸出電壓也就是從這個電阻上得出，且其相位與輸入電壓相同。於是輸出端的交變電壓便重複著輸入電壓的相位（在普通放大器內這兩個電壓的相位是相反的）。因為具有100%的負反饋，陰極耦合器的放大倍數（電壓放大）總是小於1。然而陰極耦合器卻有很小的輸入電容和輸出電阻（這也是由於具有100%負反饋的緣故），這個特點正是陰極耦合器最重要的性質。

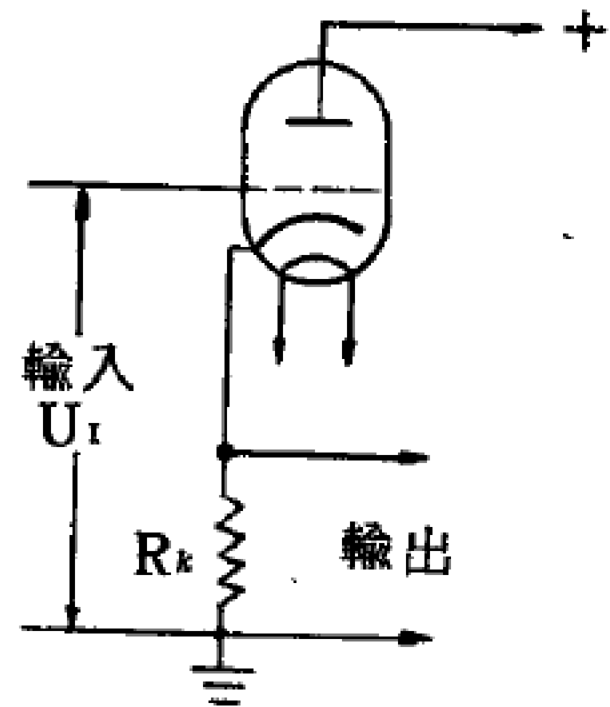


圖 11—182

由於陰極耦合器的輸出電阻很小，故易於和線路、電纜等的輸入電阻進行匹配。如果放大器在電容耦合的情況下工作，則由於陰極耦合器的輸出電阻很小，便能在輸出電路中獲得很小的時間常數，也就是說，經過這個電路要比經過帶有相同電容的普通放大器（輸出電阻很大）電路能送出較快的電壓變化。因此陰極耦合器在短脈衝放大器的輸出級中應用很廣（在雷達和電視中等）。

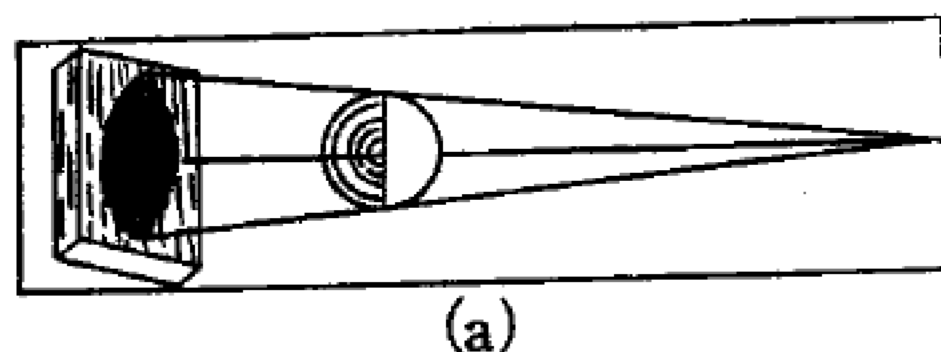
如果具有陰極耦合器的低頻放大器的頻帶寬度為5,000～8,000赫茲，則其陰極耦合器可採用普通的輸出變壓器。當放大器的頻帶寬度

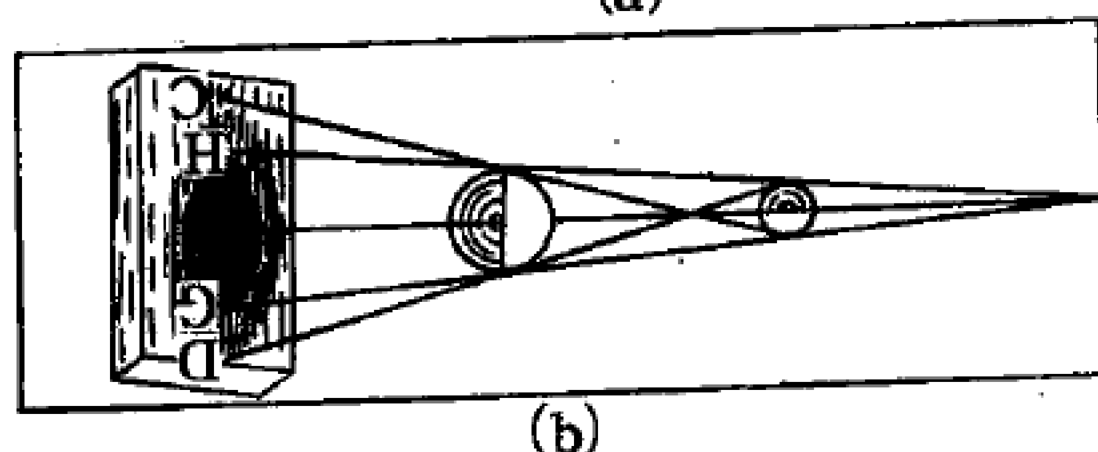
較寬時（10,000～15,000 赫茲或更高），則必須採用特殊的輸出變壓器。

【陰電性元素】（Electronegative element）

具有陰電性的元素，如氟、氧、氮等，均稱爲陰電性元素。

【陰影】（Shadow）


(a)



(b)

圖 11—183

光所進行之途徑，爲一直線，若以不透明體阻礙光源，則其背後生黑暗部分，稱爲陰影。凡從光源引至障礙物緣邊之切線內部分，皆成陰影。如圖 11—183 (*a*)，光源爲一點時，其陰影全部黑暗；若光源甚大，則陰影如圖 11—183(*b*)，其中央部分 *GH*，即在光源與障礙物外切線以內之部分，全不能受光而呈黑暗，是爲本陰影（*umbra*），其周圍部分 *HC* 及 *GD*，即在光源與障礙物內切線與外切線間之部分，雖亦爲影，但不甚黑暗，是爲半陰影（*penumbra*）。障影之屏障，距障礙物近，則本影較大，而半影較小，距障礙物遠，則反是。

【陰曆】（Lunar cal ndar）

我國自古以來所用的舊曆，叫做陰曆。是一種太陰曆。因爲計算月、日的方法，是根據太陽和月球（太陰）的運動來規定。就是按月球的運行，平均以29.5 日爲一個月；但爲和太陽的位置相符合起見，每19年又置7個閏月（*leap month*）。

陰曆中所謂二十四節氣，如下表所示，實際是中氣和節氣的合稱，就是自冬至起，每隔三十度遇一中氣，自小寒起每隔三十度遇一節氣。

我國舊曆上還有伏、社、黃霉、三時和九九等名稱。凡立春後第五

陰曆二十四節氣表

節氣	太陽黃經度	現行曆日期	節氣	太陽黃經度	現行曆日期
小寒	285°	1月6日左右	小暑	105°	7月7日左右
大寒	300	1 21 左右	大暑	120	7 23 左右
立春	315	2 5 左右	立秋	135	8 8 左右
雨水	330	2 20 左右	處暑	150	8 23 左右
驚蟄	345	3 6 左右	白露	165	9 8 左右
春分	0	3 21 左右	秋分	180	9 23 左右
清明	15	4 5 左右	寒露	195	10 8 左右
穀雨	30	4 20 左右	霜降	210	10 23 左右
立夏	45	5 6 左右	立冬	225	11 7 左右
小滿	60	5 21 左右	小雪	240	11 22 左右
芒種	75	6 6 左右	大雪	255	12 7 左右
夏至	90	6 21 左右	冬至	270	12 22 左右

戊日爲春社，立秋後第五戊日爲秋社。夏至後第三庚日爲初伏，第四庚日爲中伏，立秋後第一庚日爲末伏。入霉日期則隨地而異，南京地方大概以芒種後第一壬日起，凡二十日。三時是由夏至日起凡十五日；九九則由冬至日起凡八十一日。

陰曆上的紀日方法，可以分爲三種，就是干支、星期和儒略日（*Julian day*）。星期是七日一週，按日、月、火、水、木、金、土的次序排列下去；干支是按十干十二支配列，六十日而一週，這些都是歷史上所遺傳，儒略日是由西曆紀元前 4713 年（天文家作爲 −4712 年）儒略曆一月一日的正午（12時）算起，繼續不斷，順數而下，直至本日正午的日數；天文上的觀測多用這種紀日法。

【陰離子】（Anion）

向陽極移動之離子，稱爲陰離子，亦稱爲陽向離子。

【雪】（Snow）

0℃以下的雲由水蒸氣昇華成冰，而冰的結晶逐漸成長變重，在落下途中還沒融化而直接落到地上的，叫做雪。

雪的結晶是屬於六方晶系，但雪花的形態普通是六角形，三個晶軸在一平面上互相交叉成一百二十度的鈍角(也可以說是六十度的銳角)。在天氣酷寒時所降下的雪片，有時是近似三角形的冰塊。其結晶形狀之不同，是因它在凝固時，大氣的溫度、水蒸氣的量等條件不同所致。有人做過統計，雪花的晶體有一萬多種不同的形狀，而且像圖案一樣，非常美麗。有時雪的晶體已經看不出原來的面貌或者一部分已變成液體，這是因為雪在高空凝結後，下降時低層的氣溫可能在零度以上，部分雪的晶體就在途中融化而模糊了。

【章動】(**Nutation**)

在自旋中的陀螺或廻轉盤之軸的傾斜度，會在某些極限角度之間作週期性的變化，這種運動稱為章動。一般而論，自旋中的陀螺或廻轉盤會有章動和旋進的現象。

詳閱"廻轉器(*Gyroscope*)"條。

【頂帽】(**Top cap**)

有些電子管之管頂附一金屬帽稱為頂帽。帽下接一電極，普通接收管為柵極，發射管為屏極。

【麥克特射影】(**Mercutor projection**)

麥克特(*Gerhardus Mercutor*)於1569年介紹他的投影於其著名的世界地圖。彼係以(x, y)一平面上之點與球面的面上之點間的相當關係定於次式：

$$x = k\varphi \qquad y = k \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)$$

式中φ表經度(*longitude*)，θ表緯度(*latitude*)，此種對應關係除開兩極為奇點(*singular points*)外，他處均為一種保角變換。

所有的經線均映成平面上平行於 y 軸的平行線，所有的緯度圓均映成平面上平行於 x 軸的平行線。球面上面積的伸縮變換之增加與離赤道距離的增加成比例。

麥克特地圖乃利用麥克特投影製成。在平面上之一直線，相當於球面上割經線之成一定角的曲線，面積之伸縮變換的增加，與離赤道的距離增加相同。斜駛線（ *loxodrome* ）之在麥克特射影，均映成一直線，故麥克特射影的地圖在航海學上極爲有用。

【麥克勞方程式】(**Macleod equation**)

$$\frac{\nu^{\frac{1}{4}}}{\rho-\rho'}=\text{常數}$$

此方程式爲液體的表面張力與其密度，與蒸氣密度的關係。式中 ν 爲液體的表面張力，ρ 是液體的密度，ρ' 是蒸氣的密度。

【麥克勞壓力計】(**Macleod gauge**)

如圖 11 — 184 所示即爲麥克勞壓力計，係麥克勞於 1874 年所發明的眞空度量計。將待測氣壓的容器與 A 連結，然後提高水銀槽 G，將球狀部 E 的氣體壓入 D 內。此時在 H 處水銀將待測氣體和壓力的連絡切斷。F 爲防止水銀急速上升的裝置。C 和 D 管半徑相同，故毛細管現象的影響相同。設 C、D 兩管的水銀高度差爲 h，E 及 D 的總體積爲 V，D 管內被壓縮空氣的體積爲 v，則待測氣體的壓力等於

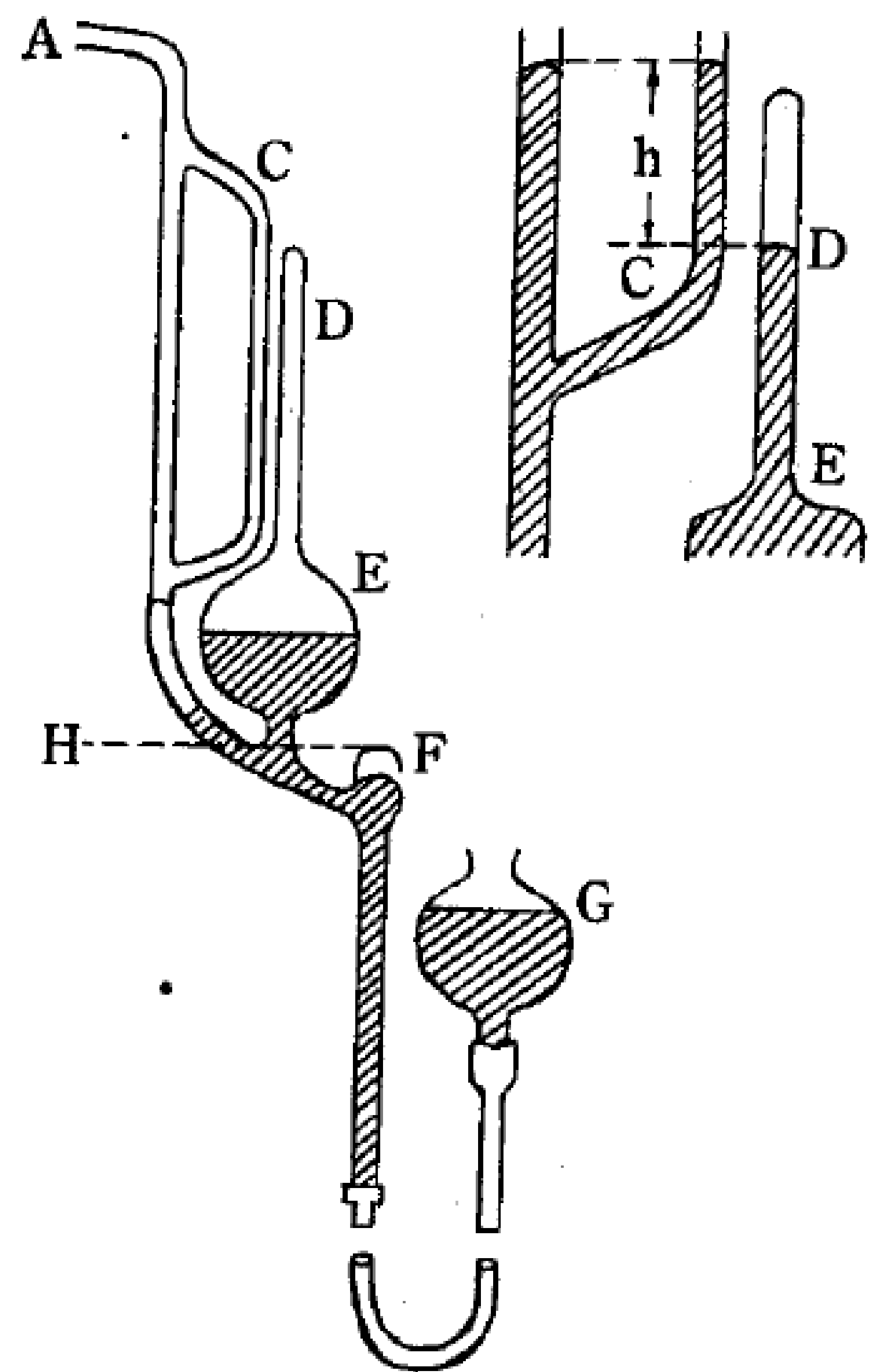


圖 11 — 184　麥克勞壓力計

$$P=\frac{hv}{V-v}\simeq\frac{hv}{V}$$

V 通常爲 500厘米^3，C 及 D 管的內徑以 0.5毫米以上較適宜。這種壓力計的 可測壓力，在 1 %精密度範圍內，約等於10^{-5}毫米水銀柱。但容易凝結的蒸氣，將產生很大的誤差。

十 二 畫

【傍位移】(Lateral displacement)

入射線與出射線間的橫向距離，稱傍位移。

【傅立葉分析】(Fourier analysis)

謂尋求以傅立葉級數來表示一函數的分析過程。

【傅立葉之熱流定律】(Fourier's heat current law)

在1秒鐘之內，於1厘米長度之棒狀物體內所傳導之熱量，係與該棒兩端間之溫度差異，作同等比例之增加。設該溫度之差爲3°C，而於另一情形下爲1°C，則在第一例中，其於1秒鐘之內，經過1厘米棒長所傳導之熱量，爲後者之三倍。我們習稱每1厘米棒長中之溫度減低度數爲溫度之降差。由於λ（內部導熱係數）乃是溫度降差爲1時（每1厘米1°C），於1秒鐘之內通過1平方厘米橫切面之熱量卡數，所以溫度降差爲t時（每1厘米t°C），其於1秒鐘之內通過1平方厘米橫切面之熱量，乃爲$t\cdot\lambda$卡。因此，在q平方厘米橫切面之內，其於1秒鐘時間中所傳送之熱量，乃爲$q\cdot t\cdot\lambda$。我們將此稱爲內部熱流W。於是

$$W = q\cdot t\cdot\lambda \text{ 卡}$$

在上式中，W乃是於1秒鐘之內，通過棒之橫切面以卡爲單位的熱量，q就是此一以平方厘米爲單位的橫切面之數值，t是溫度降差而λ則是內部導熱係數。我們稱此一關係式爲傅立葉之熱流定律。

【傅立葉、貝色變換式】(Fourier-Bessel transform)

即 $$f(y) = \int_0^\infty F(x) J_m(xy)\, x\, dx$$

而 $$F(x) = \int_0^\infty f(y) J_m(xy)\, y\, dy$$

【傅立葉定律】(Fourier's law)

設 j_E 爲溫度差所引起的能量流密度（*energy current density*），即是單位時間內，通過垂直於能量流方向的單位截面積之能量，設能量流方向爲 X 軸。能量流發生於一定方向，此方向就是溫度減少之方向。以 T 表溫度，單位長度溫度之變更（或溫度梯度）則爲 $\frac{dT}{dx}$。經實驗證實，除了短距離內，溫度變更過速的情況外，j_E 正比於 $\frac{dT}{dx}$；即

$$j_E = -K\frac{dT}{dx}$$

式中之 K 爲一係數，稱爲熱傳導係數，因物質之性質而定。負號表示能量能在溫度減少的方向上。上式即稱爲傅立葉定律。於一距離內，溫度變更較緩的情況下，此定律方能適用。雖然，氣體、液體與固體中的熱傳導機構不同，但傅立葉定律適用於物質之三態。

j_E 以單位 $Jm^{-2}s^{-1}$ 表示，$\frac{dT}{dx}$ 以單位 Km^{-1} 表示。K 則以 $Jm^{-1}s^{-1}K^{-1}$ 或 $mkg\,s^{-3}K^{-1}$ 單位表示之。有時 K 亦以 $cal\,m^{-1}s^{-1}K^{-1}$ 表示。傅立葉熱傳導定律與非克擴散定律非常相似。事實上，熱傳導係數 K 與擴散係數 D 之間具有密切關係。

【傅立葉空間】（Fourier space）

反商晶格所在的空間因次是（長度）$^{-1}$，爲一般空間的倒數，故稱此空間爲傅立葉空間。

【傅立葉係數】（Fourier coefficient）

傅立葉級數中的係數項。

【傅立葉級數】（Fourier series）

$$f(x)=\sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin nx+\frac{1}{2}b_0+\sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos nx$$

其中 $a_n=\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(\xi)\sin(n\xi)\,d\xi$

$$b_n=\frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(\xi)\cos(n\xi)\,d\xi$$

【傅立業效應】(Fourier effect)

設想一個溫差電偶的接點保持在不同的溫度T_1和T_2($T_1 > T_2$)，兩條導線皆在中間一點被切斷，而且接到一個溫度爲T介乎T_1和T_2之間的熱庫(*heat reservoir*)。這樣的裝置不會有溫差電流，當然也不會有焦耳效應(*Joule effect*)，但是溫度爲T_1的熱庫會喪失熱能。沿著導線傳到溫度T_2的熱庫裏去。而溫度爲T的熱庫並沒有獲得或喪失熱能。導線如適當掩蓋則不會有熱能從側面接觸而互相傳遞。這種熱傳遞的現象就叫做傅立業效應。

【傅瑞涅爾】(Augustin Jean Fresnel 1788—1827)

詳閱"夫果涅爾(*Augustin Jean Fresnel* 1788—1827)"條。

【傑恩、特勒效應】(John-Teller effect)

在研究晶體中因原子缺陷捕獲電子或電洞所生成的捕獲中心(*trapping centers*)的各種現象時，會產生與對稱性有關的現象。假設圍繞某捕獲中心的晶體位能呈現某種程度的對稱性，則當靠近該中心的離子都固定在正常的晶體點時，其基態將呈簡併態。若這些離子能夠自由調整它們的分佈情形，則當這些離子所佔的位置，使得其對稱性較原分佈狀況的對稱性爲低時，中心區域的穩定性就會增加。由於對稱性降低，原來呈多種簡併的基態能階將產生分裂的現象。這種現象就稱爲傑恩、特勒效應。

【備用發射機】(Auxiliary transmitter)

如船隻或電臺常有備用機件，以便應付緊急使用。

【備用機件】(Stand-by machine)

船隻、電臺，除日常工作使用發射與接收的機件外，常附有備用的機件配備。

【備急機件】(Emergency apparatus)

如救生船的通信備用工具，我們稱之爲備生機件。

【傘形天線】(Umbrella antenna)

此種天線有如張開之傘。一般邊行邊講的收發機，頗多採用。

【凱文表面張力方程式】(Kelvin equation for surface tension)

即克耳文方程式。

詳閱“克耳文方程式 (*Kelvin's equation*) ”條。

【凱氏溫標】(Kelvin's thermometric scale)

詳閱“克氏溫標 (*Kelvin's thermometric scale*) ”條。

【凱普曼方程式】(Chapman equation)

以分子常數來表示氣體的黏度

$$\eta = \frac{(0.499)m\bar{c}}{\sqrt{2}\,\pi\tau^2\left(1+\frac{\bar{c}}{T}\right)}$$

其中 η 是黏度，m 是分子質量，$\bar{c}$ 是平均速度，τ 是碰撞參數。

【剩磁】(Residual magnetism)

本來沒有磁性的物體，使它感受磁化力，一旦把感化力完全撤開，該物體上尙剩有相當少量的磁性，則此少量的磁性叫做剩磁。

某些強磁性體在磁化場消失以後，仍然能夠保持著磁極化的特性。這個特性的形成，是因爲在這些強磁性體內存在有所謂矯頑磁力。強磁性體因爲具有剩磁，故可用來製造永久磁鐵。在某些特種鋼和磁性合金內，剩磁顯得特別強，故這些材料也可用來製造永久磁鐵。純鐵的剩磁比較弱，所以不適合於製造永久磁鐵。

【剩餘核輻射】(Residual nuclear radiation)

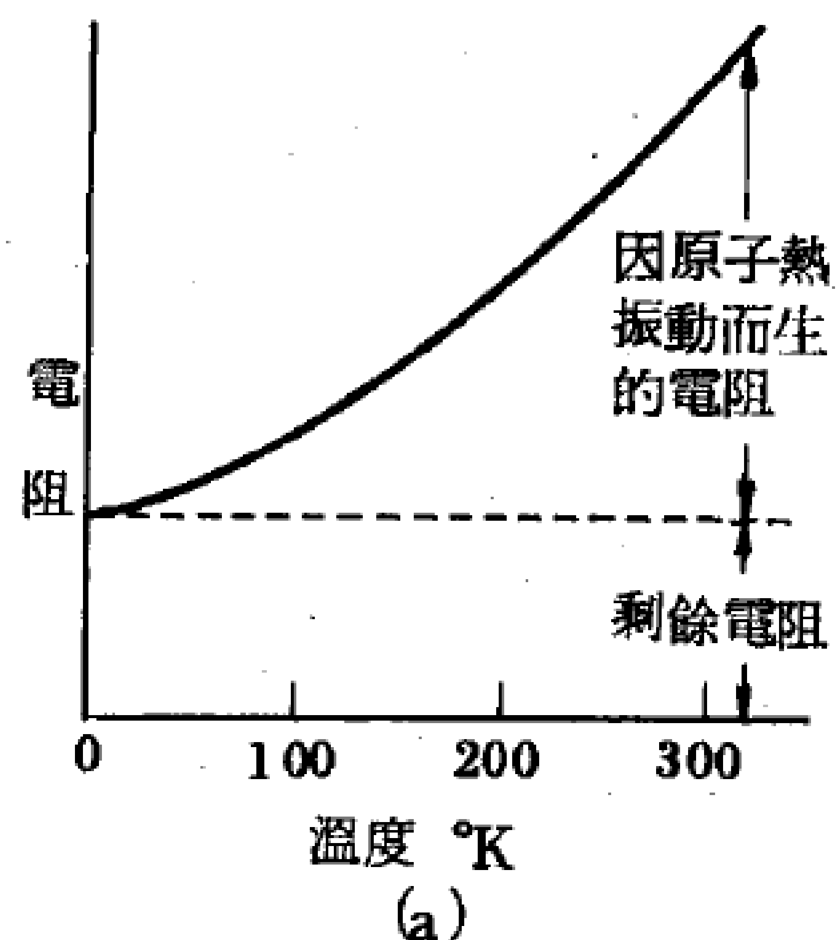
延遲的核輻射或核爆後剩下的放射材料所放出的輻射。剩餘輻射是任意定的，指爆炸後一分鐘以上所放出的輻射。

【剩餘氣體】(Residual gases)

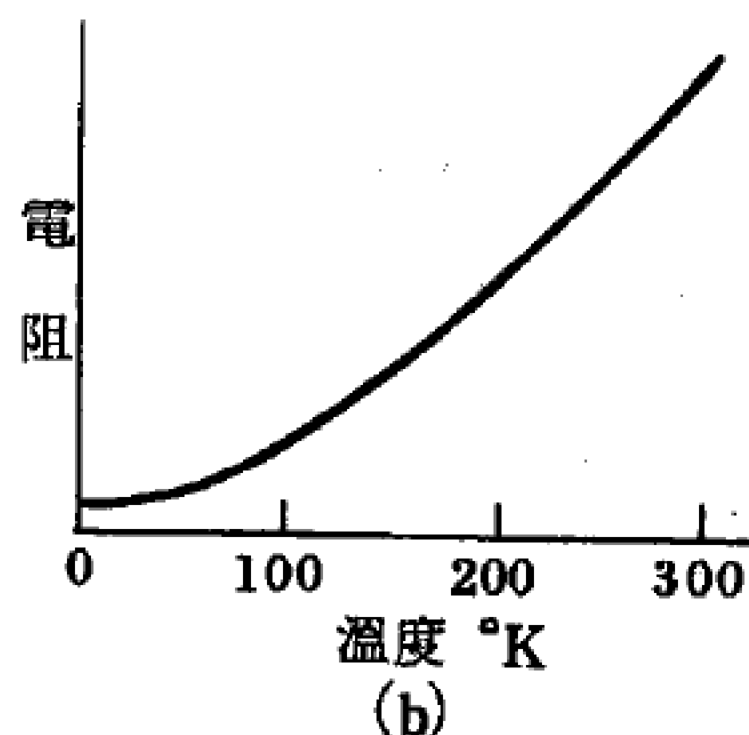
電子管泡內抽氣後仍存留小量氣體。

【剩餘電阻】(Residual resistance)

金屬溫度越低或純度越高，則電阻越小。將純銅線施以適當的熱處理，可消除其中大部分的物理形變，此時電阻在室溫下約爲300歐姆。如冷卻至液體氦的溫度，則電阻可能只有一歐姆了。如低溫下的電阻極限係由金屬的物理欠缺所造成，則即使把溫度降得再低，也無法進一步減小電阻，如圖12－1(a)。根據實驗結果，很多金屬都具有此種性質，而此種低溫下的極限電阻，稱爲剩餘電阻。



(a)



(b)

圖12－1

剩餘電阻給了我們一種雖不精細但很實用的測量金屬完美度的方法。若金屬極純且無變形，如圖12－1(b)，剩餘電阻會很小（可能只有室溫時電阻的0.0001），但不純金屬在液態氦中的電阻可能只降到室溫時的$\frac{1}{4}$。一金屬中含有雜質原子者，其電阻係數可以寫作 $\rho = \rho_i + \rho_L$

式中ρ_L 爲因格子熱運動所引起之電阻係數，ρ_i 爲電子波經擾亂格子週期性之雜質原子散射所引起之電阻係數。如果雜質原子之濃度小，ρ_i 不隨溫度變更，此稱爲馬特海森(*Matthiessen*)規則。

剩餘電阻爲在0°K之引伸電阻係數，於$T \to 0$時ρ_L 爲零，故剩餘電阻相當於ρ_i。測定結果表明剩餘電阻隨各試件而不同，至於熱運動所引起之電阻係數則與試件無關。電阻量度的本身，對於我們從理論與實驗兩方面比較金屬內部自由電子承受散射的原因，很有價值。今日對某

些金屬強弱程度之原因的了解，是非常重要的。金屬中原子的規則型式，可能會因所謂變位或錯位（*dislocation*）而遭破壞。這種情況跟茶的表面上聚集了很多排列整齊的小泡沫相似。如果有些泡沫破了或體積較大，全部排列就破壞了。這種錯位性的格子欠缺，對金屬強度的影響很大，對金屬性質的了解也是很重要的。同時，此種格子欠缺既能擾亂原子的規則型式，當然亦會衝散傳導電子而產生電阻。因此，由電阻的量度，便可比較各種情況下格子欠缺對電子的影響是否跟我們推想的一致，藉以檢驗理論上的觀念是否恰當。

【剩餘電荷】（Residual charge）

電容器放電後，導片仍留電荷。

【剩餘磁化強度】（Residual magnetization）

假設有一鐵磁性物質的試件，它的形狀爲一圓環，在圓環上繞一線圈。開始設此物質並未磁化，並且線圈上亦無電流，當線圈中的電流緩慢增加時，物質中的磁化場H增強，而對應之磁場

$$B = \mu_0(H + M)$$

亦隨之改變，如圖 12—2 中曲線 oa 所示，因是B/H不爲常數，此一結果可解釋如下：當H爲小時，磁田的取向效應很小，但是當H超過某一定值時，磁田開始改變它們原有凌亂的方位，而使它們自己轉向場H的方向，由於物質的磁化強度M的增強，遂造成B的急速增加；H的值達某一定值後，所有的磁田幾乎均已排列就緒，磁化強度不可能再有所增加，在此情況下，M已達它的最大值，則稱此物質的磁化爲飽和。以後再增加任何B值，皆僅由於H（或線圈中的電流）的值增加所致。

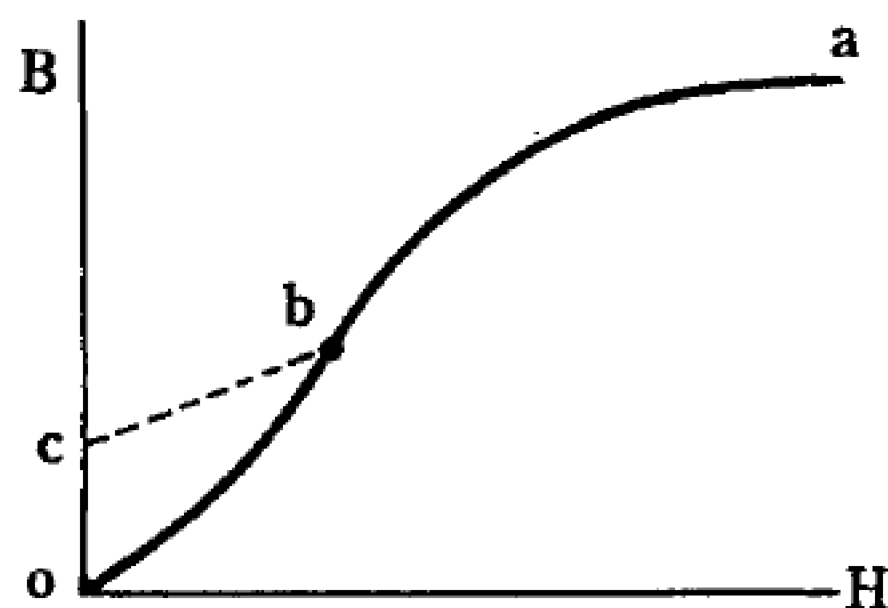


圖 12－2　鐵磁性物質的磁化曲線

假如在 b 點的場H減低（只要使線圈中的電流減低），則物質並不

循曲線 ob 而是循著另一曲線 bc 折回，當 H 變為零時，磁場 B 保留一值 oc ，表示物質內有一剩餘磁化強度 M_{res}。這個結果可用以下的事實解釋之，那就是當電流為零時，熱運動並不夠強烈，尚不足以完全抵銷磁田的規律排列；但是假如物質受熱，剩餘的磁化強度就很快的消失。

【勞厄】（Max Theoder Felix von Laue 1879—1960）

德國物理學家，1879 年十月九日生於萊因省會科不林士（*Coblenz*）。先後在史特拉斯堡、哥丁根、慕尼黑、柏林等地受教育，1903 年在柏林大學隨浦朗克學習而得博士學位。先後至哥丁根、柏林（浦朗克的助手）、慕尼黑（講師）、蘇黎世（教授）各大學。1914 年大戰爆發時，任佛蘭克福大學教授，1919 年返回柏林大學任教授。勞厄發現若干晶體，例如食鹽，會使 X 射線繞射，由此可以量度 X 射線的波長，研究晶體中的原子位置。由於在 X 射線繞射的研究極有貢獻，1914 年獲諾貝爾物理學獎，1960 年四月二十三日因車禍不治，逝於西柏林。

【勞厄方程式】（Laue equation）

圖 12—3 表示一平面單色 X 射線自 P 的方向，射向一晶胞，晶胞各底上的原子 O、A、B、C 將此 X 射線繞射至 Q 方向的情形。這個繞射的條件，即各散射中心向 Q 方向散射出的射線，有相長干涉的條件。以 O 為此晶胞的原點；$OA=a$，$OB=b$，$OC=c$ ，分別為晶胞的各晶格向量的邊長。若入射線 OP 的方向餘弦為（α_1，β_1，γ_1）；出射線 OQ 的方向餘弦為（α_2，β_2，γ_2）。則自 A 散射出的射線，與自 O 散

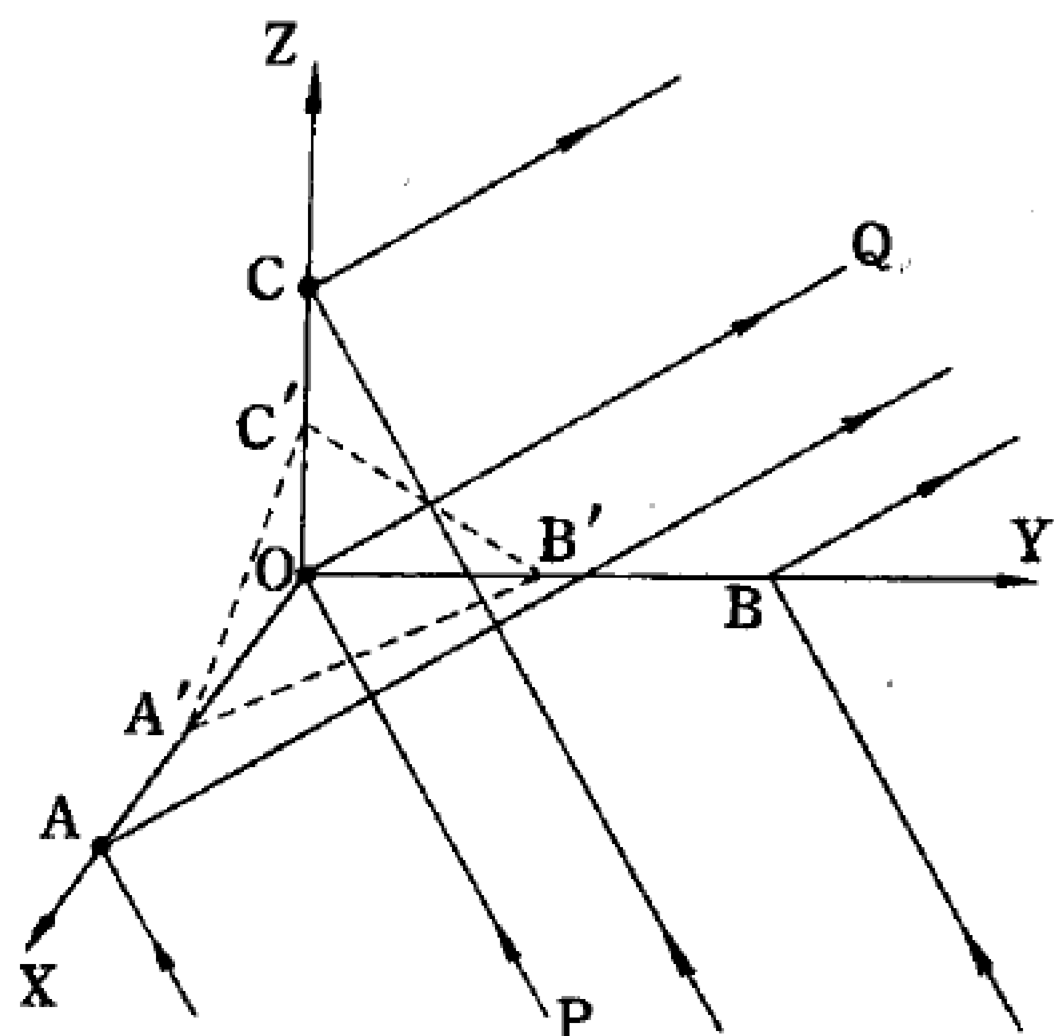


圖 12—3　勞厄方程式的圖示

射出的射線，有相長干涉的條件，因此兩行程的差等於波長的整數倍n_1，即

$$a(\alpha_2-\alpha_1)=n_1\lambda \tag{1}$$

同樣地，自B或C散射出的射線，與自O散射出的射線，有相長干涉的條件，分別是

$$b(\beta_2-\beta_1)=n_2\lambda$$
$$c(\gamma_2-\gamma_1)=n_3\lambda \tag{2}$$

以上三式中的n_1、n_2、n_3是各自獨立的正負整數。這三個式子就是PO射線繞射至Q方向的條件，即勞厄方程式。換句話說，每一組適合勞厄方程式的(n_1, n_2, n_3)值，即代表一勞厄斑（*Laue spot*）。

若令$OA'=\frac{a}{n_1}$，$OB'=\frac{b}{n_2}$，$OC'=\frac{c}{n_3}$，則自A'，B'，C'各點所散射出的射線都同相位（與POQ的行程都差一波長，λ）。因此，可說OQ是OP自$A'B'C'$平面反射的方向。根據以上的假設$A'B'C'$平面的方程式為

$$x\frac{n_1}{a}+y\frac{n_2}{b}+z\frac{n_3}{c}=1$$

而原點O至此平面的垂直距離d為

$$d=\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{n_1}{a}\right)^2+\left(\frac{n_2}{b}\right)^2+\left(\frac{n_3}{c}\right)^2}}$$

又設OQ與OP的夾角為2θ，則有

$$\cos 2\theta=\alpha_1\alpha_2+\beta_1\beta_2+\gamma_1\gamma_2 \tag{3}$$

合（1），（2）及（3）三式，即得

$$\left(\frac{n_1^2}{a^2}+\frac{n_2^2}{b^2}+\frac{n_3^2}{c^2}\right)\lambda^2=(\alpha_2-\alpha_1)^2+(\beta_2-\beta_1)^2+(\gamma_2-\gamma_1)^2$$
$$=4\sin^2\theta$$

所以　　$$2d\sin\theta=\lambda$$

這表示，通過O點而與$A'B'C'$平面平行的平面適合布勒格定律（*Bragg's law*）（$m=1$）。

【勞厄狀況】(Laue conditions)

謂在X光繞射中的三方程式

$$(u - u_0)a_1 = n_1 \lambda$$
$$(u - u_0)a_2 = n_2 \lambda$$
$$(u - u_0)a_3 = n_3 \lambda$$

其中u_0是在入射X射線方向的單位向量，u是散射方向的單位向量，λ是波長，a_1、a_2、a_3是晶體軸向量。

【勞厄斑】(Laue spot)

德國物理學家勞厄（*Max von Laue*）於1912年發現結晶固體因原子的規則排列，而形成X射線的天然三維繞射光柵。圖12－4顯示若波長連續分佈的X射線準直射束照射於像氯化鈉、硫化鋅等晶體上，某些方向會出現清晰的強光束，相當於從組成晶體的繞射中心所生的相長干涉。若此光束射至照相底片上，即形成一組勞厄斑，又稱爲勞厄圖樣（*Laue pattern*）。仔細研究勞厄斑的位置和強度，可推得晶體中原子的排列情形及對稱性質，這與研究光柵干涉圖案中光譜線的位置和強度，可知光柵結構的方法相同。

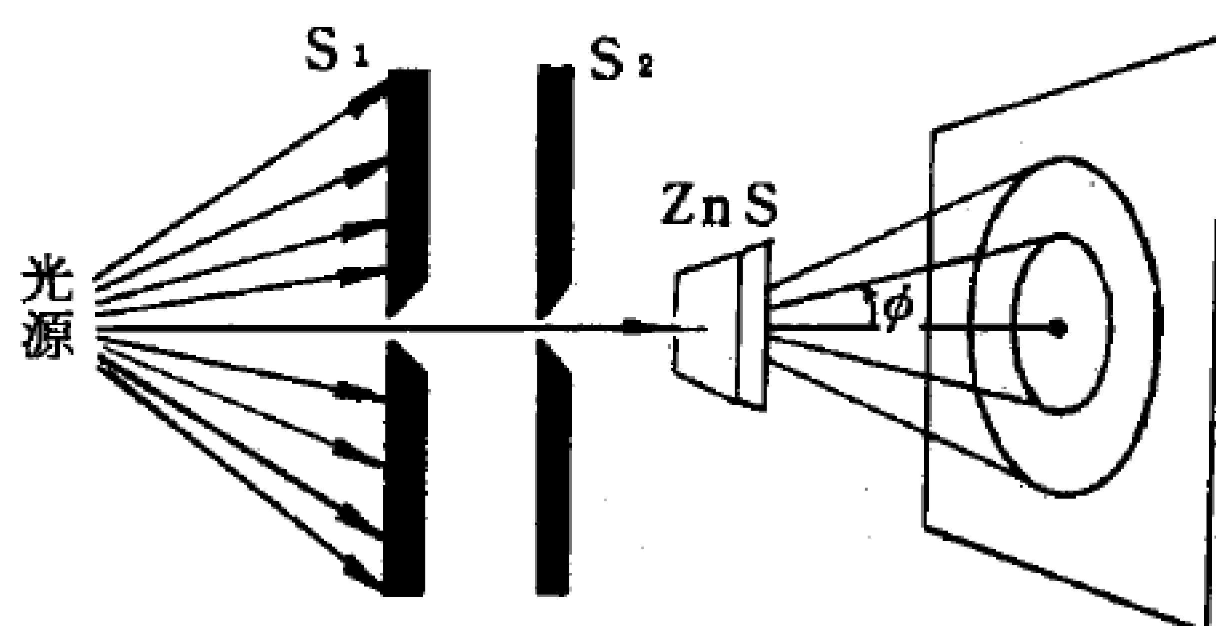


圖12－4

【勞厄照相】(Laue photograph)

到現在因有了X光作爲測量的工具，我們已能精確地測量晶胞的大小，了解原子間安排的情形。

X光也像普通光線一樣，可以看成一種波。波峯與波峯間（其實就是任何一點到最近相似點）的距離做爲波長，以λ做符號。可見光的波長約4×10^{-5}厘米～8×10^{-5}厘米，X光的波長爲0.1×10^{-8}厘米～10×10^{-8}厘米，約爲可見光波長的千分之一。X光射入一晶體面，會被晶

體反射至許多不同角度的方向。

圖 12—5 的水平線代表從邊上看過去的兩層晶體原子，爲了方便假設每個面只有一個原子。*A*、*B* 兩光線代表入射 *X* 光，兩線上打記號的點分別代表波峯的位置；兩光線分別碰在上下兩個面上散射至各方向。圖上只劃出幾個重要的散射方向，並在各散射光線上標好波峯的位置。理論上來講，*A*、*B* 兩光線是從同一波源發出，入射前應同相（*in phase*）即波峯的位置相同。經過反射後 *B* 光線走得較遠，相位比 *A* 光線落後一些（*B* 波峯比 *A* 波峯落後一點距離）。假使它正好落後一個波長或者正好整數個波長，*A*、*B* 兩光線仍是同相。圖中可看出，只有幾個特定的方向才能發生這種情形，也就是說在這幾個角度上，光反射的能量遠比異相時大。

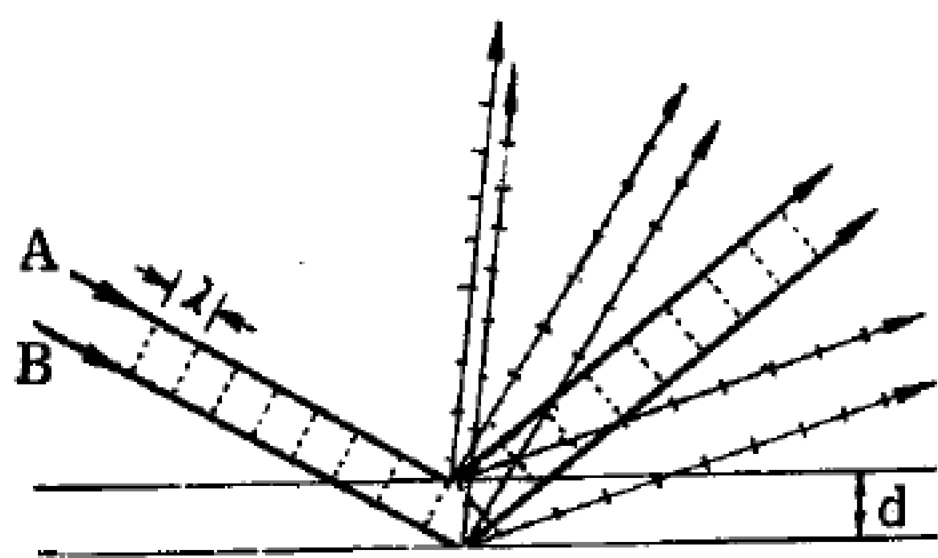


圖 12 — 5

當兩個波完全異相時，一個波比另一個波落後半個波長，一個的波峯應該是另外一個波谷，如圖 12—6。將這兩個波加起來正好是一條直線，也就是兩者互相抵銷而使強度爲零。


圖 12 — 6

如圖 12—7 所示，爲強反射角度的方向。圖中粗黑的部分就是 *B* 光所多走的距離，兩個光線分別垂直 *B* 光線。若要 *B* 光離開時與 *A* 光同相，粗黑多餘部分的總和應爲波長的整數倍。圖中指線所標示的角都是 θ 角。在小三角形中可看出 $sin\theta = s/d$，多餘的部分爲 $2s = 2ds in\theta$，在同相時應等於波長的整數倍。*n* 代表所有的正整數。發生

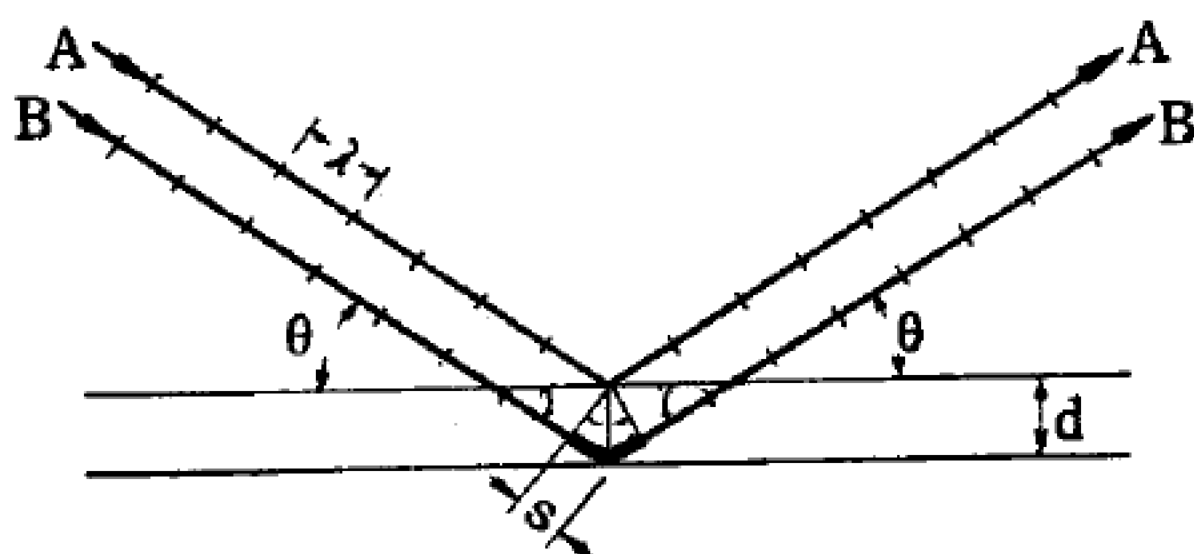


圖 12 — 7
兩粗黑部分差 d′(cosθ′ − cosθ′)亦爲B光比A光落後之距離

強反射的角度應合乎下列的布勒格方程式（*Bragg equation*）：

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

適合布勒格方程式的條件是：入射光與繞射面的夾角應等於繞射光與繞射面之夾角，和光反射時入射角等於反射角一樣。所以習慣上稱這種繞射光叫反射光。由前面這條件可看出，三維的繞射光柵（*diffraction grating*）除非在特殊角度下，不會繞射一個單色光。因爲單色光只有一個波長 λ，原子之間的距離 d 一定，θ 當然就是一個固定值。

從上面講的 X 光的特性可以曉得：如果能量出 X 光的波長以及繞射角，就可以算出晶體中原子之間面與面的距離，進而看出晶胞的大小。例如氯化銫晶胞的邊長爲 4.12×10^{-8} 厘米。

大部分晶胞的大小都在 $2.5\times10^{-8}\sim10\times10^{-8}$ 厘米之間。科學家便定 10^{-8} 厘米爲單位，簡寫爲 $\mathring{A}$。

第一位以 X 光來量晶體中原子之間的距離的是勞厄（*Max von Laue*）。當時科學家仍不甚了解 X 光的性質，只知道用它可照穿人的骨頭。倫琴（*Wilhelm Röentgen*）、湯木生（*J. J. Thomson*）等幾位大科學家都相信：它們都是可見光，只是波長稍短罷了。

人們也逐漸了解，將反光面上刻上許多精細的平行紋路（也就是繞射光柵），反射光便會發生繞射現象。從而測量出光的波長。當勞厄從他的朋友厄瓦特（*Raul Ewald*）得知晶體是由許多建築方塊整整齊齊堆成的，他連想到這正好是一個 X 光的三維光柵。於是他就告訴助手們將狹窄的 X 光來打在一個晶體上，在附近放置一張包上黑紙的軟片。底片洗出來後，果然發現面上有些分開的小點，證明 X 光被晶體繞射了。通常都稱這種方法爲勞厄照相，從此以後探討晶體之門大開，人們開始分析 X 光所產生的點，進而了解光的波長。測量繞射點與入射光所呈的角度，算出原子間的距離，如果小心分析繞射 X 光的強度（只要分析底片黑白的程度），更能使我們深一步了解不同原子間安排的情形。平常

，人們都先假設晶體的結構，然後再算一算是否與實驗的結果、光點的位置及相對強度附合。

【勞厄圖樣】(Laue pattern)

對於整個晶體之一既定入射方向，我們具有一系列極大，相應於由所有平面組來的散射，此諸平面組係能使布勒格方程式成立者，因各平面組具有不同之方向，故此諸極大係位於不同方向上。

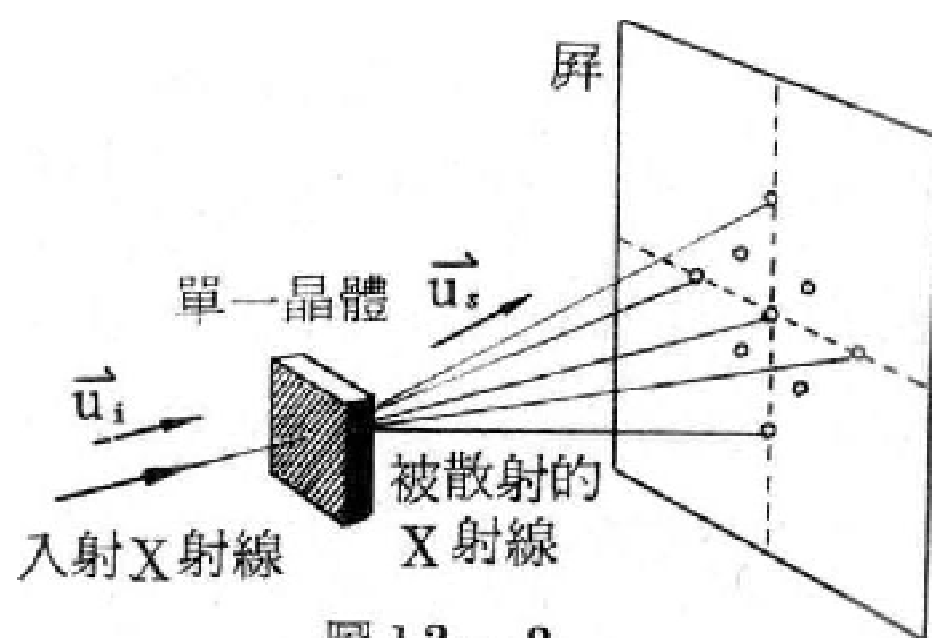
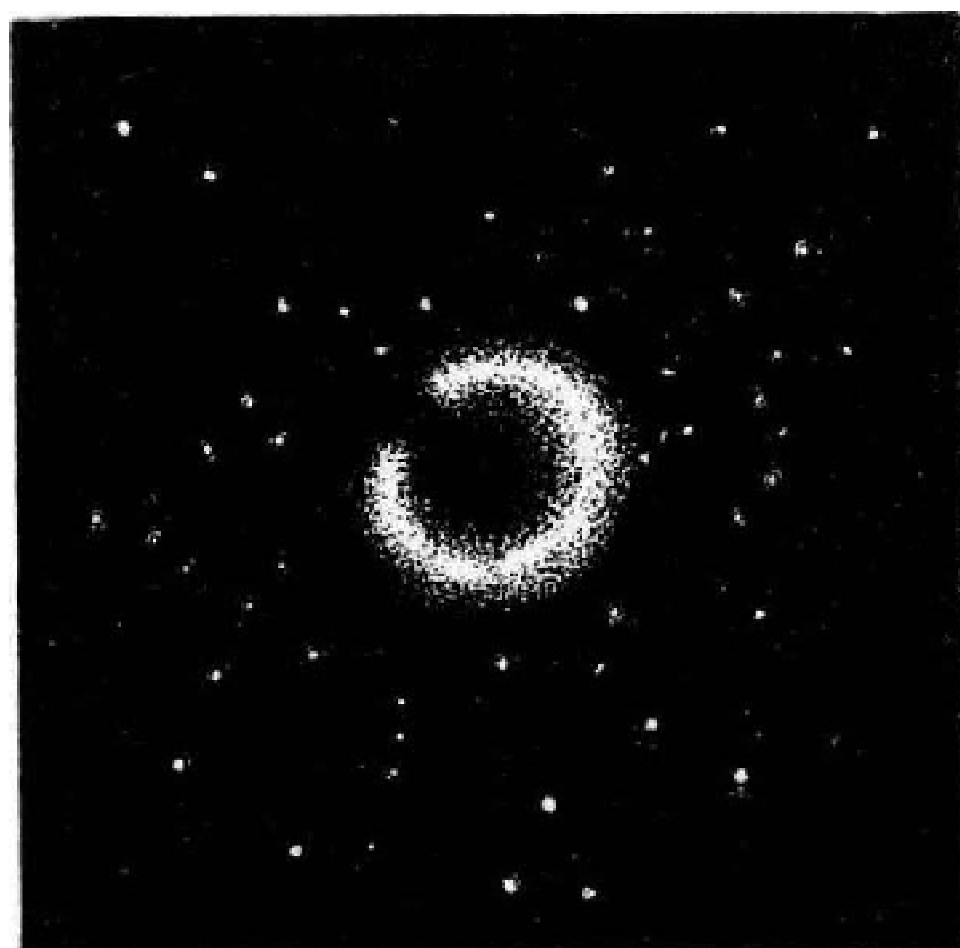


圖 12 — 8
單一晶體對X 射線之散射

散射強度因每一平面組上之原子數而定。若將一幕屏置於由單一晶體而來的諸散射線之途徑上時，如圖 12 — 8 幕屏上出現一足以表示晶體結構特性的規則圖案，此圖案稱爲勞厄圖樣，圖案上每一斑點（亮點），相應於由一平面組來的散射方向，圖 12 — 9 所示爲石英晶體之勞厄圖樣。


圖 12 — 9　石英晶體之勞厄X射線圖樣

【勞厄繞射】(Laue diffraction)

勞厄繞射是決定晶體的方向及對稱性的方法。以一波長連續變化的 X 射線（波長約從 0.2 埃到 2 埃）或中子射束照射一定的單晶體，當入射的 X 光滿足布勒格定律時，即當波長 λ 與入射角 θ 及晶格平面間之距離 d 滿足 $2d \sin\theta = n\lambda$ 的關係，則繞射光（也是反射光）會生相長性干涉，由放在晶體周圍的底片上可看到繞射圖樣。如圖 12 — 10所示爲矽晶體近似在 [100] 方向的勞厄圖樣，注意圖樣轉動 $2\pi/4$ 時仍近似不變，中央黑點


圖 12 — 10

係在底片所穿之孔。由繞射圖樣可以分析晶體的對稱性質，例如圖中的晶體是四方軸對稱。若將對稱軸與入射光或中子束的方向平行，則在圖中可看到四方軸對稱的圖樣。此外由於勞厄繞射法所用的波長是連續者，所以可能同時有許多波長對同一晶體面都可滿足布勒格定律，而在繞射圖樣上同是在一點上，因此造成了分析上的困難，故勞厄繞射法實際上不能用以決定晶體的結構。

【勞厄繞射方程式】(Laue diffraction equation)

勞厄方程式係從一晶體構造之簡單靜原子模型演證而得。勞厄方程式用以解釋一繞射柱形成之條件甚為有效。布勒格方程式將成為勞厄方程式之直接自然結果。

試究一空間格子之格子點處完全相同諸散射中心所產生之X射線繞射花樣之本性。如圖 12 — 11中，從相隔一向量$\vec{r}$之任兩格子點P_1與P_2之散射。單位入射波法線為$\vec{s_0}$，單位散射波法線為$\vec{s}$。從遙遠一點處，經P_1與P_2散射輻射之相位差。如果P_2A與P_1B為$\vec{r}$在入射波與散射波方向之投影，則兩散射波間之路程差為

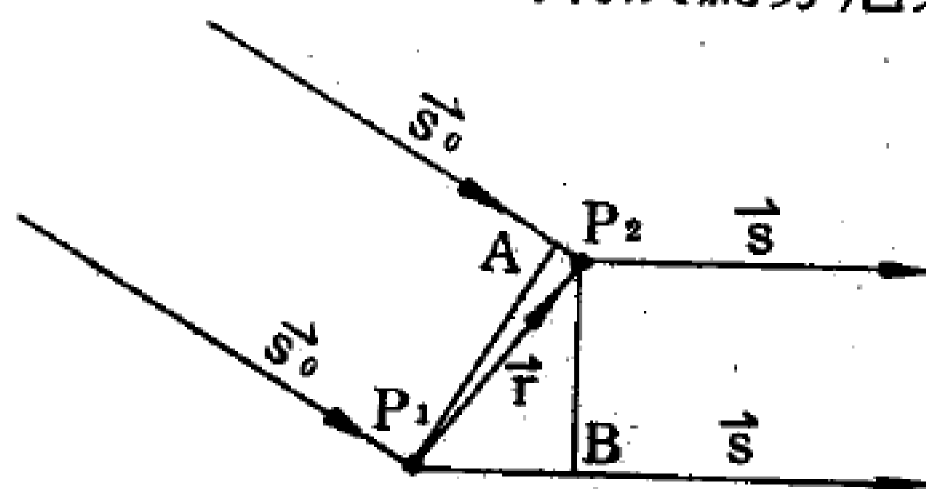


圖 12 — 11
計算從兩格子點散射之波之相位差

$$P_2A - P_1B = \vec{r}\cdot\vec{s_0} - \vec{r}\cdot\vec{s} = \vec{r}(\vec{s_0} - \vec{s})$$

向量$\vec{s_0} - \vec{s} = \vec{S}$即為將入射方向反射至散射方向之平面之法線方向。如圖 12 — 12此平面稱為反射面。如果2θ為$\vec{s}$與$\vec{s_0}$間之交角，θ即為入射角，由圖可知$|\vec{S}| = 2\ sin\ \theta$，因$\vec{s}$與$\vec{s_0}$均為單位向量。

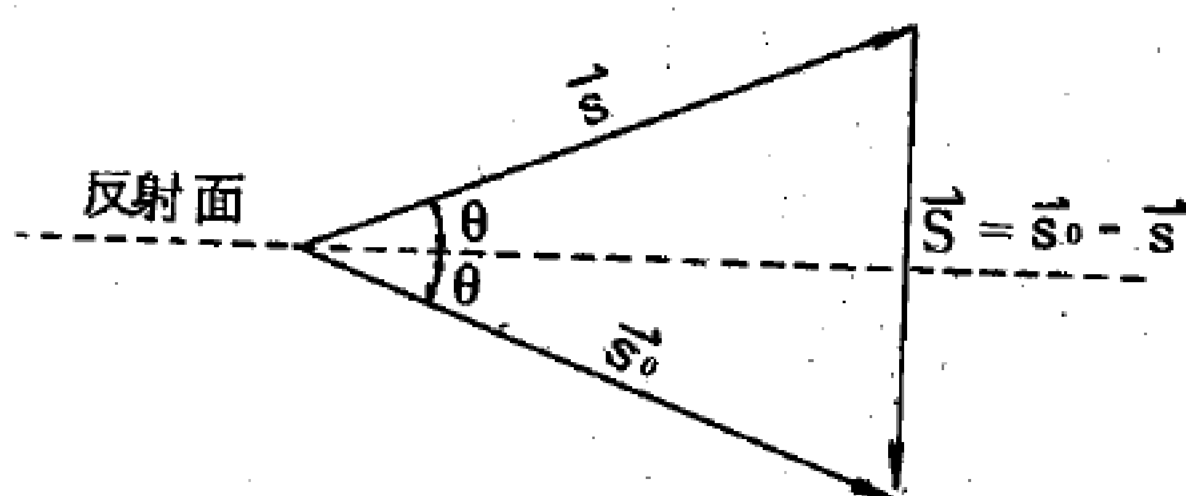


圖 12 — 12　畫反射平面之法線

兩格子點散射波間之相位差ϕ即為其間路程差之$2\pi/\lambda$倍。此即，如其路程差為一個波長λ，則相位差為2π

遂得 $$\phi=\frac{2\pi}{\lambda}(\vec{r}\cdot\vec{S})$$

散射波最大振幅之方向，爲從每一格子點散射波間之相位差爲 2π 之整數倍者。在此方向上，個別散射振幅相加，繞射柱之強度爲最大。如果 $\vec{a}$、$\vec{b}$、$\vec{c}$ 爲原平移向量，得繞射極大之條件爲

$$\phi_a=\frac{2\pi}{\lambda}(\vec{a}\cdot\vec{S})=2\pi h$$

$$\phi_b=\frac{2\pi}{\lambda}(\vec{b}\cdot\vec{S})=2\pi k$$

$$\phi_c=\frac{2\pi}{\lambda}(\vec{c}\cdot\vec{S})=2\pi l$$

式中 h、k、l 均爲整數。如果 α、β、γ 爲 $\vec{S}$ 對於 $\vec{a}$、$\vec{b}$、$\vec{c}$ 之方向餘弦，則

$$\left.\begin{aligned}\vec{a}\cdot\vec{S}&=2a\alpha\sin\theta=h\lambda\\\vec{b}\cdot\vec{S}&=2b\beta\sin\theta=k\lambda\\\vec{c}\cdot\vec{S}&=2c\gamma\sin\theta=l\lambda\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

此即勞厄方程式。彼等僅於 θ 與波長 λ 爲特殊值時有解。

勞厄方程式（1）有一直接幾何含義。我們知道 α，β，γ 爲 $\vec{S}$ 對晶基向量 $\vec{a}$，$\vec{b}$，$\vec{c}$ 之方向餘弦，$\vec{S}$ 爲反射面之法線。勞厄方程式之含義即是在繞射方向上，此方向餘弦係分別與 h/a，k/b，l/c 成正比。今相鄰格子平面（hkl）交晶軸之間隔爲 a/h，b/k，c/l，h，k，l 爲米勒指數（*Miller indices*），因（hkl）之法線之方向餘弦係與 h/a、k/b 及 l/c 成正比，故格子平面（hkl）必與反射面平行，而發生繞射極大者，乃是散射方向可從入射方向經一格子平面反射而得。

如果 $d(hkl)$ 爲一組（hkl）平面之兩相鄰平面間隔，從投影得

$$d(hkl)=\frac{a\alpha}{h}=\frac{b\beta}{k}=\frac{c\gamma}{l}$$

然後，從（1）式得 $$2d(hkl)\sin\theta=\lambda\qquad(2)$$

今勞厄方程式之整數 h, k, l 並不一定與實際晶體面之米勒指數相同，因勞厄方程式中之 h, k, l 可以含有共同整數因子 n，而在米勒指數中，此共同因子 n 已予消去。故

$$2d\ \sin\theta = n\lambda$$

式中 d 即爲具米勒指數（h/n，k/n，l/n）相鄰兩平面之間隔。此即爲布勒格方程式，我們在此係從勞厄方程式推證得之。整數 n 稱爲反射之級次。

對於（2）式當 h, k, l 有一共同因子 n 時，我們可對間隔 $d(h, k, l)$ 予以一引伸意義：繞射波實乃從眞實格子平面之第 n 次反射所引起，但取作一數學工具，我們可以將繞射波想作起因於一組平行於眞實格子平面且等間隔 $d(h, k, l)$ 等於眞實間隔 $1/n$ 之第一次反射。

【勞厄繞射圖樣】（Laue diffraction pattern）

繞射現象是波的一個特徵，故除了無線電波與光波外，在其他的電磁波範圍內，也應該會有同樣的現象。不過，我們又發現一繞射圖樣的極大強度之角寬度，約爲 $\frac{\lambda}{d}$。換句話說，須繞射光柵的尺度與電磁波的波長，有很接近的數量級，才能觀測到繞射的現象。對不同波段內的電磁波，須用不同的繞射屏來產生繞射圖樣。對波長僅有 10^{-9} 到 10^{-8} 厘米的 X 射線，要用人造的繞射光柵（刻痕間的距離約可小到 10^{-4} 厘米）顯然是不可能的。這正是侖琴（*Röentgen*）發現 X 射線後，歷十餘年還無法決定它到底是粒子或波的原因。直到西元 1912 年，德國科學家勞厄（*Laue*）才想到，一晶體內的原子或分子表現有規則的排列，又其間的距離也約爲 10^{-8} 厘米，故應該可以用來觀測 X 射線的繞射。不過，結晶構造是立體的，是一個三

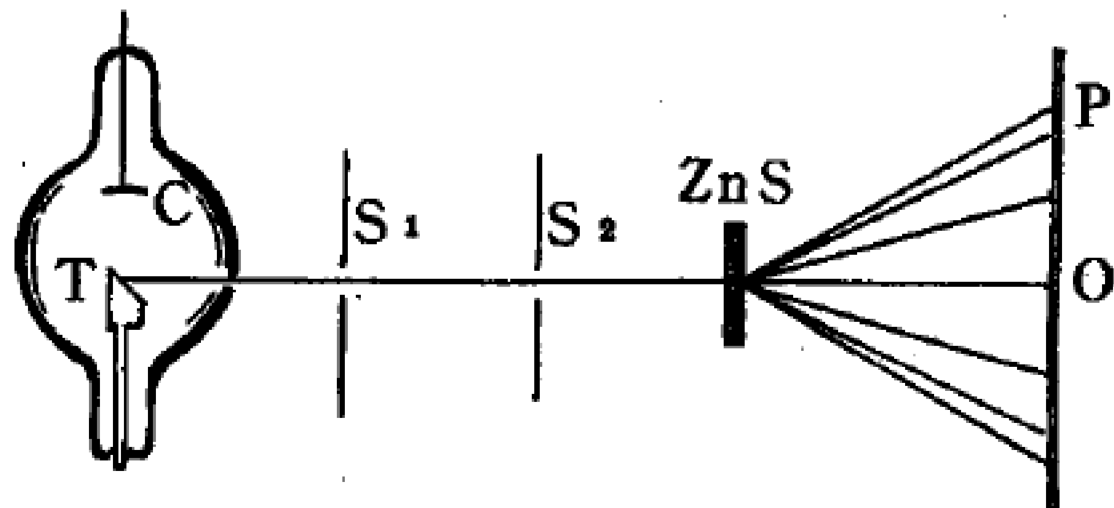
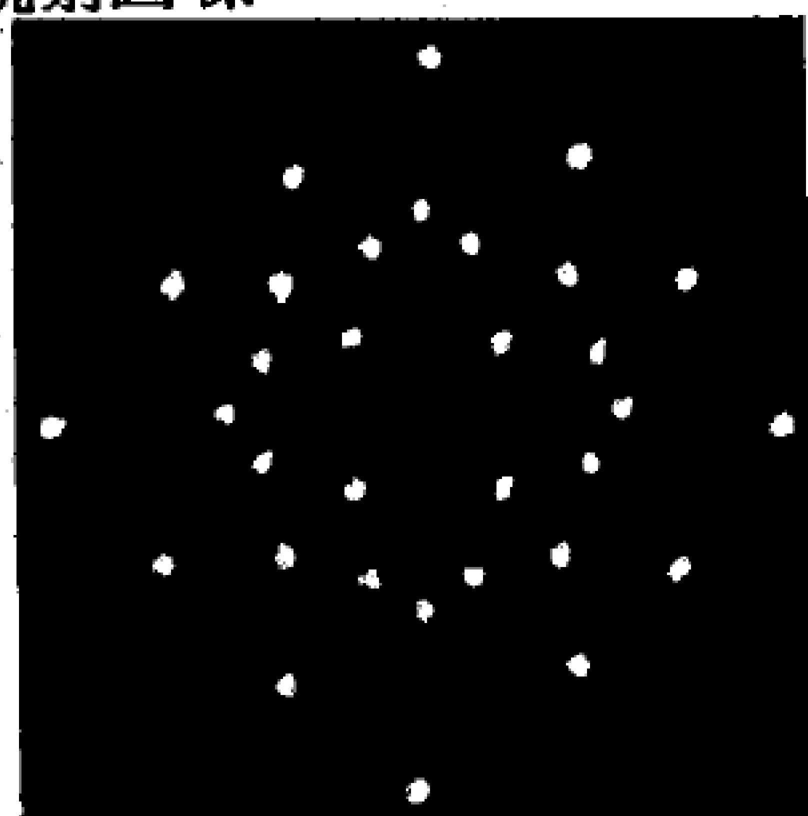


圖 12 — 13　產生勞厄繞射圖樣的裝置

維的繞射屏，而不是一般的平面（二維）光柵。

依照勞厄的推想，不久有人用X射線束照射薄層的硫化鋅晶體，而在晶體後放一照相底片（如圖 12—13所示）。他們發現從晶體射出的X射線，除了在中間直射方向上有一亮點外，周圍還有許多成一定圖樣的亮斑。這種X射線繞射後的圖樣，現在一般都稱作勞厄繞射圖樣。圖 12—14 所示的圖片，是氯化鈉結晶的勞厄繞射圖樣。


圖 12—14
氯化鈉結晶的勞厄繞射圖樣

一晶體內的各個原子或分子，都是由一群帶負電荷的電子，環繞著固定的（或局限在極小範圍內振盪的）原子核旋轉而構成的。當X射線經晶體時，它的週期性變化電場，即驅使各原子上的電子，作強迫振盪。這種電子的振盪，隨即發出新的電磁波。這等於各原子把入射的X射線散射開來。向各方向散射出的X射線，互相干涉而產生如圖 12—14 所示的勞厄繞射圖樣。因此，我們應以晶體內的每一個原子為散射中心，來推求各原子散射X射線的總效應。

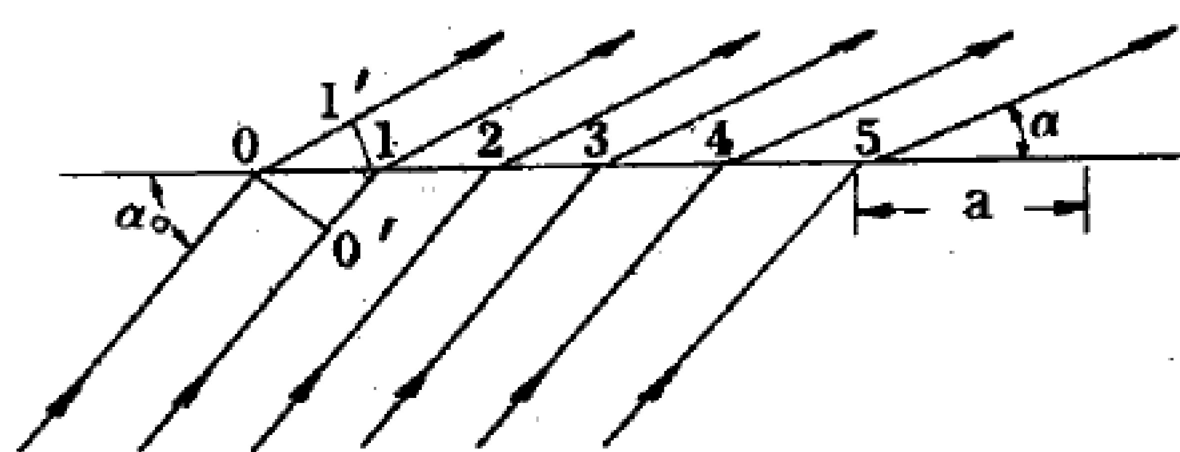


圖 12—15

當討論X射線繞射的理論時，為易於理解起見，先從直線格子討論之。如圖 12—15 所示，0，1，2，3，4，5… 均為原子，按等間隔排成一直線，而形成所謂直線格子。當X射線平面波對直線格子以α_0角射上時，原子 0，1，2，3，4，5 等均成為新球面波之波源，而向四方放射X

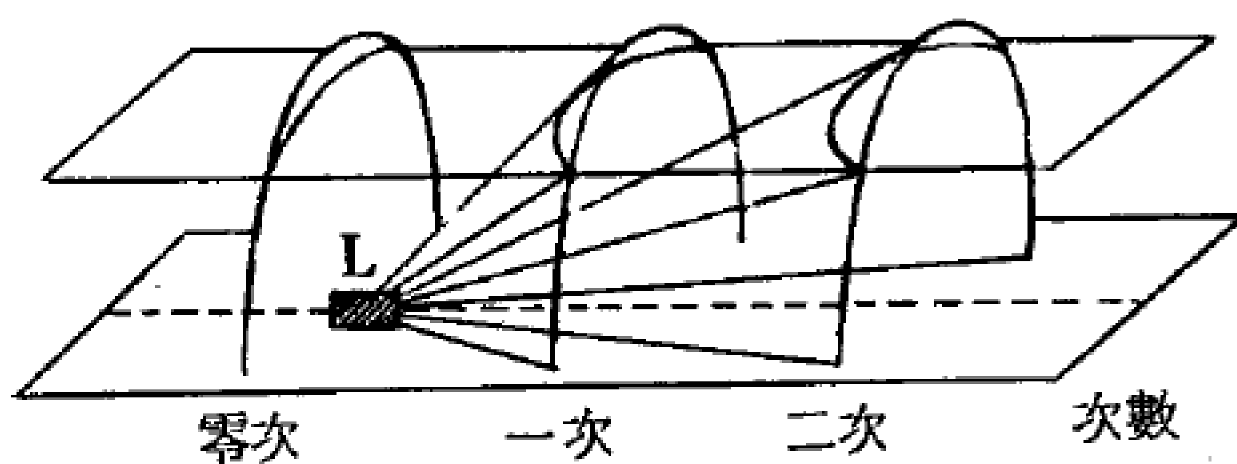


圖 12—16

射線，此種X射線常稱爲散射X射線，圖中僅示散射於α方面之X射線，通過相鄰二原子的射線的行程差，由圖易知爲$a(\cos\alpha-\cos\alpha_0)$，依波動理論，如此行程差等於入射$X$射線波長$\lambda$的整數倍，即

$$a(\cos\alpha-\cos\alpha_0)=n\lambda \qquad (1)$$

時散射波因干涉在α方向可生強波，所以直線格子的繞射條件爲（1）式，此處n爲整數。（1）式可改寫爲

$$\cos\alpha=\cos\alpha_0+n\cdot\frac{\lambda}{a} \qquad (2)$$

對已知的λ，就某一n值可得一個α值。於是當（1）成立時由干涉所生強波的方向係位於半頂角α的圓錐面，如圖12—17所示。如在適宜距離處置一螢光板或照相板，則在該板上將有一組雙曲線。圖中之零次、一次及二次等光譜（spectrum）係分別對應（2）中之$n=0,1$及2等。又$n=-1$及-2等光譜全位於零次光譜之左側而與右側的光譜對稱。

再就平面格子討論之，設入射X射線與x，y軸所成的角度分別爲α_0及β_0，散射後與x，y軸所成的角度分別爲α與β，由上述易知散射波因互相干涉而生強波的方向係決定於滿足下記二式

$$\left.\begin{aligned}a(\cos\alpha-\cos\alpha_0)&=n_1\lambda\\ a(\cos\beta-\cos\beta_0)&=n_2\lambda\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

α及β、n_1及n_2均爲整數。此即對平面格子之X射線的繞射條件。（3）的第一式顯然爲與x軸平行的直線格子，因干涉而生強波的條件。第二式爲與y軸平行之直線格子，因干涉而生強波的條件。由（3）式

$$\left.\begin{aligned}\cos\alpha&=\cos\alpha_0+n_1\frac{\lambda}{a}\\ \cos\beta&=\cos\beta_0+n_2\frac{\lambda}{a}\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

依此式，若在適宜處置一平行 x， y 面的照相板或螢光板，在該板面上將有如圖 12—17所示的光點。此等光點爲二組雙曲線之交點，其一組雙曲線係根據（4）之第一式形成，另一組雙曲線則形成（4）之第二式。

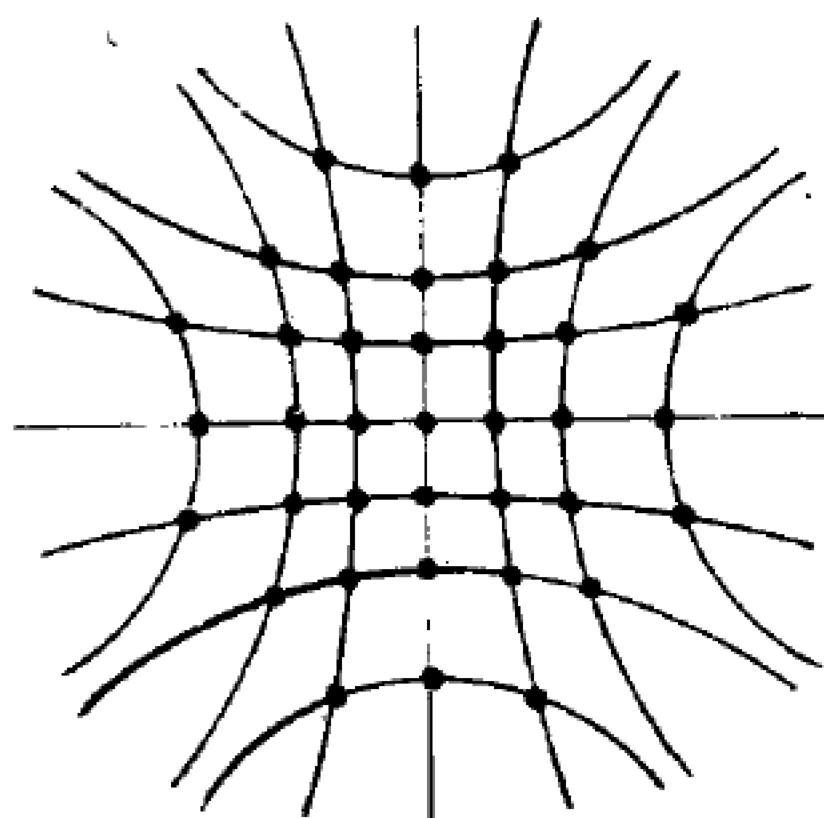


圖 12—17

就空間格子言，若入射線及散射線與 x,y,z 軸所成的角度，分別爲 $\alpha_0,\beta_0,\gamma_0$ 及 α,β,γ，則散射波因干涉而爲極大的方向爲同時滿足下列三式：

$$\left.\begin{aligned} a(\cos\alpha-\cos\alpha_0)&=n_1\lambda \\ a(\cos\beta-\cos\beta_0)&=n_2\lambda \\ a(\cos\gamma-\cos\gamma_0)&=n_3\lambda \end{aligned}\right\}\qquad(5)$$

α,β,γ 由（5）可得

$$\left.\begin{aligned} \cos\alpha&=\cos\alpha_0+n_1\frac{\lambda}{a} \\ \cos\beta&=\cos\beta_0+n_2\frac{\lambda}{a} \\ \cos\gamma&=\cos\gamma_0+n_3\frac{\lambda}{a} \end{aligned}\right\}\qquad(6)$$

（6）的第三式是 z 向直線格子的繞射條件。如在與 z 軸成垂直之適宜處置一照相板，（6）之第三式所示的干涉將使照相板上生一組圓，而第一式及第二式之繞射圖樣爲二組相交之雙曲線，如圖 12—17所示，故以波長 λ 之 X 射線投射於空間格子時所生之繞射花樣乃是一組圓與圖12—17 所示圖樣之合成，如圖 12—18所示。從圖 12—18 可知入射 X 射線若爲單色 X 射線，極不易得二組雙曲線與一組圓的交點，因只有同時滿足（6）之三個條件之點方能在底片上顯示出來，故若用單色 X 射線

是不易測得繞射現象，即不易使底片上現出勞厄斑。反之，若用連續X射線，因為其中必有滿足（6）三條件的波長，則易得勞厄斑，（5）通稱為勞厄干涉條件。

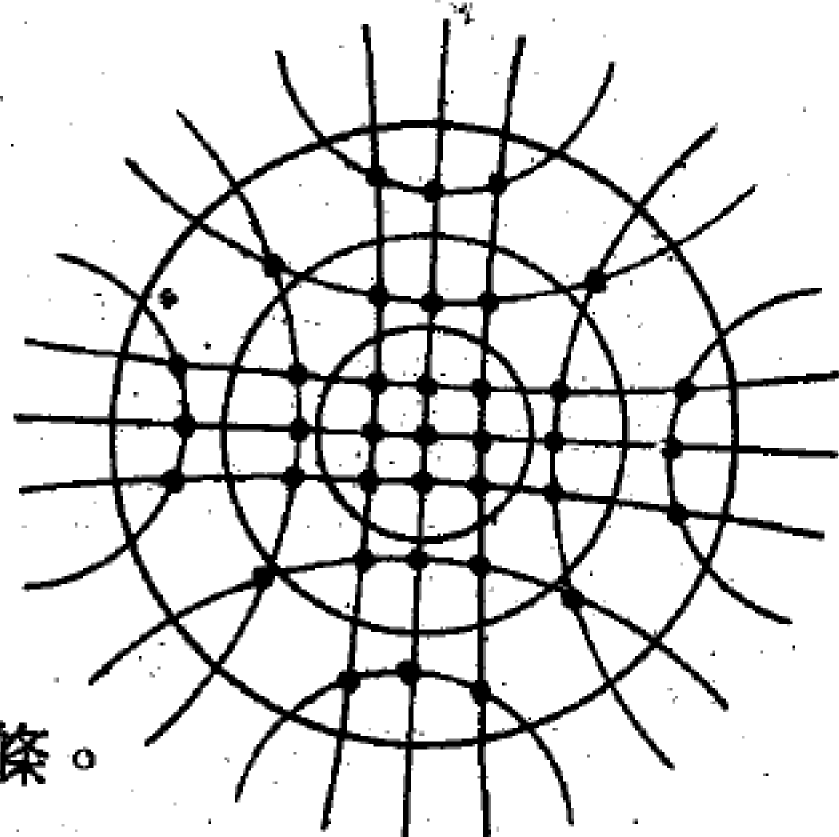


圖12－18

【勞特定律】（Raoult's law）

即拉午定律。

詳閱"拉午定律（*Raoult's law*）"條。

【勞倫級數】（Laurent series）

泰勒級數的一般式　　$f(z)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n(z-z_o)^n$

其中係數　　$a_n=\frac{1}{2\pi i}\int_c\frac{f(t)dt}{(t-z_o)^{n+1}}$

【勞倫斯】（Ernest Orlando Lawrence 1901—1958）

美國物理學家，1901 年八月八日生於南達柯他州坎呑（*Canton*），挪威移民後裔。南達柯他大學學士，明尼蘇達大學碩士。得碩士後先赴芝加哥大學再轉耶魯大學，於 1925 年獲博士學位。後留母校三年，1928 年至加州大學任副教授，1930 年年僅 29 歲時升正教授，為柏克萊校區中最年輕的正教授。1929 年開始設計迴旋加速器，1930 年建造第一具加速器，直徑僅 $4\frac{1}{2}$ 吋。1932 年勞倫斯申請到五百美金的補助費，造成一具直徑 11 吋的迴旋加速器，可將質子加速到一百廿萬電子伏特並用以擊碎鋰（*Li*）原子核成為兩個氦原子，1939 年獲諾貝爾物理學獎。二次大戰期間勞倫斯將加速器當作質譜儀，分離出鈾-235，對製造原子彈幫助甚大。其姓氏被用以稱呼新的人造元素鐒（*lawrencium*），原子序數是 103，係 1961 年在加州勞倫斯放射實驗室產生的新元素。1958 年八月廿七日逝於加州巴老（*Palo Alto*）。

【喇叭】（Horn）

揚聲器的推動器，將低頻的音頻電流變爲機械振動後，除了用紙盆放大膜片的振動傳出聲音外，亦常用喇叭直接匯集膜片振動所產生的音波，經由喇叭的放大作用而傳出聲音。圖12—19所示的是膜片振動時使空氣壓縮或稀疏的情形。這一壓縮的作用，因爲喇叭喉口狹小而壓縮得更緊密，稀疏的情形也更爲顯著。使空氣壓縮得更緊密及稀疏得更顯著的作用，亦就是增加了所傳出音波的壓縮波的振幅，也就是在膜片振動時，喇叭對於音波作了放大的工作。不僅如此，因爲喇叭的設置，使膜片的振動推動空氣時，空氣在喇叭喉口受到狹小空間的限制，等於喇叭喉口對於膜片有一種阻滯力。這種阻滯力可以減少膜片因慣性所作的諧振，所以喇叭可以大量地放大聲音及減小失眞。

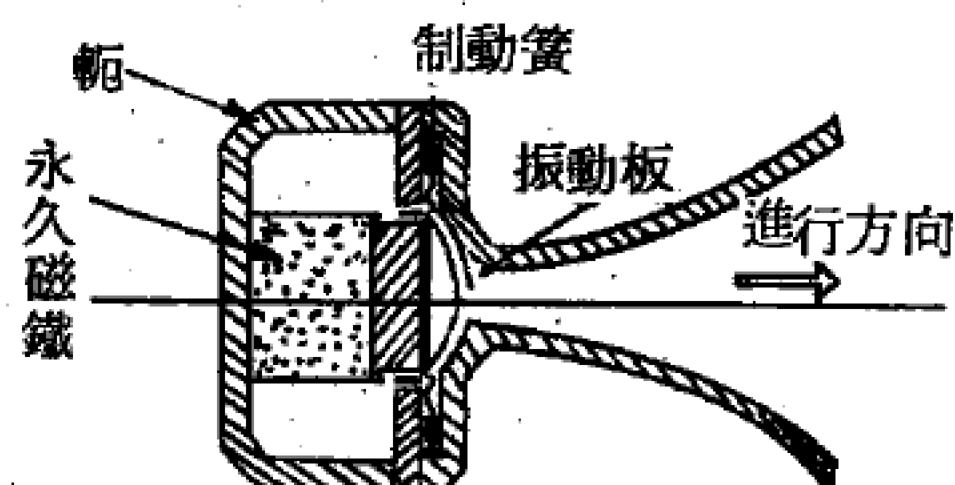
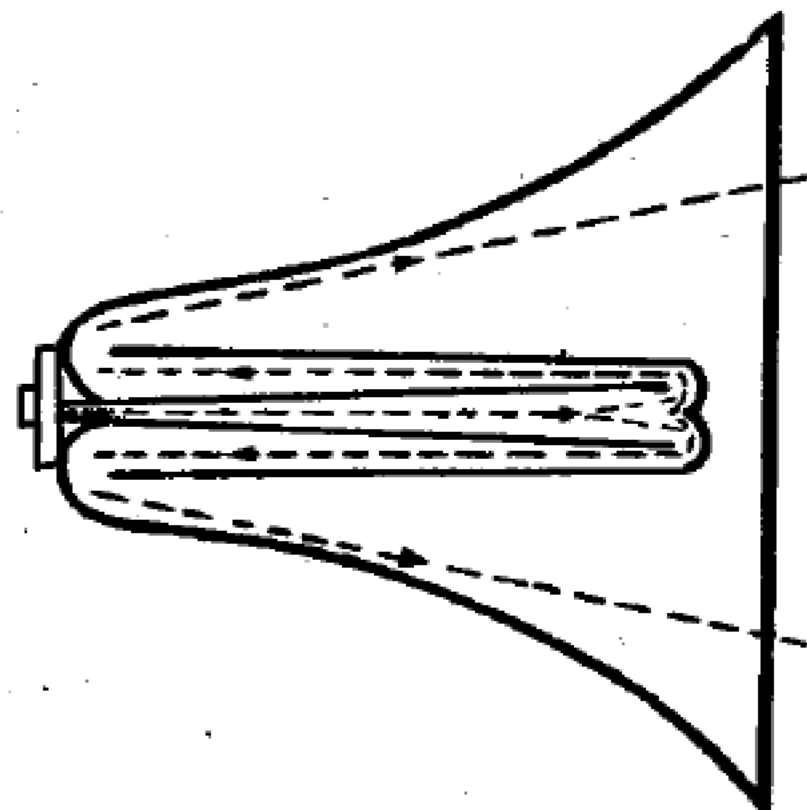


圖12—19　揚聲器的喇叭

喇叭喉口的面積愈小愈好，但是太小的喇叭口，反使膜片振動所產生的壓力變化，只能通過一小部分，而使大部分成爲耗損，所以膜片的大小、喇叭口的大小及膜片至喇叭口間的距離（稱爲膜片室）要有一定的比例。


圖12—20　指數式喇叭

如果喇叭的喉口直接向外面空氣散放振動的音波，或喇叭筒的截面積（圓筒形）始終不變，則壓縮的音波到達筒口時，突然膨脹，而音波的壓力突然減小到與外面的空氣壓力一樣，使管內靠近管口的空氣速率增加，壓力降低，即造成管內的稀疏，也就是造成壓縮音波向管內反射，而有駐波。隨著駐波的產生，就有諧振而引起失眞，並使音波的輸出大爲減弱。爲了要減少這種反射損失，必須使喇叭的截面積逐步增加，使音波到達喇叭口的時候，其壓力的變化極爲平滑，或是近於相等。

喇叭口的直徑如果和音波的波長相等，則可以完全沒有反射損失。如果小於音波的波長，就有部分聲能反射回喇叭裏面而損失。小得越厲害，損失就越大。

喇叭的形式很多，其中指數式的喇叭，是根據指數方程式

$$A = A_0 E^{BX}$$

式中A爲離喇叭喉口X距離的截面積，A_0 爲喇叭喉口的截面積，E爲自然對數的底數＝2.71828，B爲每X單位的面積變化率。

圖12—20是指數式喇叭（*exponential horn*），因爲本身太長，攜帶和應用都不方便，所以使其重疊曲折縮小了原有的體積。圖中的虛線表示音波的通路。

【喇叭式揚聲器】（**Horn type loud speaker**）

輸出率比直接輻射式揚聲器爲高，而且在整個工作頻率範圍中極少變動，但在低頻端與高頻端則會迅速下降，因振膜的慣性和彈性對太低或太高的音頻有所改變而引起。

【喇叭形天線】（**Horn type antenna**）

用於分米波與厘米波的金屬喇叭形定向天線。喇叭是借以傳送電磁能量的波導管的延續體。（若爲發射天線，則能量由發射機到喇叭；若爲接收天線，則能量由喇叭到接收機。）

喇叭的尺寸越比所發射的波長大，喇叭形天線的方向性就越強。喇叭在水平面內的輻射範圍是一個非常狹窄的角度，在垂直面內的角度則要寬闊得多。

【喇叭筒】（**Megaphone**）

以鋅鐵造成的長頸喇叭，在喇叭的底部裝上一個碳精微音器，使用一個強放用的晶體管，先將聲頻電力放大，然後通過揚聲器將聲音重發，再藉喇叭將聲能集中，向著一個方向輸出，可收大響度的效果。

【單工制】（**Simplex operation**）

用同一天線作發射及接收，交換使用。在無線電通信系統中，單工制表示在同一個時間中，僅准許單方面工作（即一個發送，另一個在接收）。

【單分子層】(Unimolecular layer)

我們的周圍東西的大小，很容易測定，有些是1 cm ($10^{0} cm$) 程度，或 $\frac{1}{10} cm$ ($10^{-1} cm$)程度等，其大小隨時可加以比較。像10^{0}、10^{-1} 等叫做大小的因次表示法。

由於分子過分的細小，無法直接測定它的大小。不過，測定分子大小的因次，有簡單的方法。譬如，落在水面上的一滴油，它會在水面擴張。只要能測定這種油膜的厚度，便不難推定油的分子大小一定小於油膜的厚度。

在廣大的水面滴下一滴油，使它慢慢在水面上擴張，形成很薄的一層膜，而由實驗可知一滴油所形成的油膜面積經常是一定的，油膜的厚度與所滴數量無關，通常是一定的。這件事正暗示著油膜有其最小單位。在更詳盡的研究中，可以知道這個膜是油的分子的單一層所形成。如此厚度只有分子的大小程度的薄膜，叫做單分子層。在水面造成單分子層的物質，是不溶於水，分子是由若干原子構成，而分子與水接觸的部分，也就是分子下面的部分原子是位於水中。因此可以說構成油膜的分子是彼此擠緊立在水面的。故以油滴體積除以擴散開來的面積，即爲分子的直徑。

【單心目鏡】(Monocentric eyepiece)

用三片透鏡黏合而成之目鏡。主要特點係視野小而明晰度大。

【單式】(Monaural)

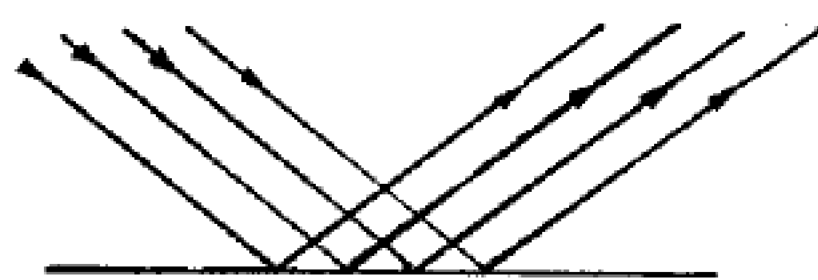
使用單一隻耳官收聽者。

【單式雷達】(Primary radar)

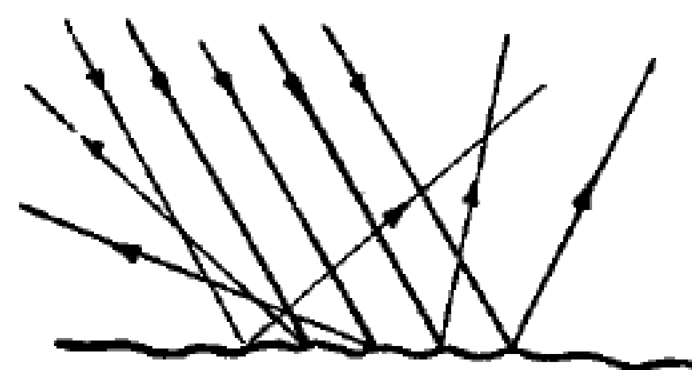
只需一個電波的反射，即達到探測目的者。

【單向反射】(Regular reflection)

當一束平行光線，射在一光滑的平面上，則反射後的光線，仍為平行光線。如圖12—21 (a)，此稱為單向反射。若反射面凹凸不平，反射光線四面分散，則稱為漫射 (*diffused reflection*)。如圖12—21(b)。



(a) 單向反射



(b) 漫射

圖 12 — 21

單向反射之光較集中，故覺強烈。物體浸濕時有光澤、日光投射於平面鏡時特別耀眼；均由於此。由物體表面產生漫射的緣故，我們能從各方向看見物體，而知其存在，故非發光體也像發光體一樣，向四方射出光線。

【單向天線】(Unidirectional antenna)

發射單向最強的天線。

【單向天線孔徑】(Aperture of a unidirectional antenna)

垂直天線最大輻射方向的一個靠近天線的平面部分。

【單向無線電通信】(Single-way radio communication)

若干地點間進行無線電通信時，只有其中一個地點是進行發送，而另一個 (或另一些) 地點則只進行接收。

【單向電流】(Unidirectional current)

電流之流動永遠向一個方向者。

【單向傳聲器】(Unidirectional microphone)

只對某一個方向傳來的振動波感應靈敏的傳聲器，其優點為利用其適宜位置可以減少來自他方向的振動波之干擾。

【單色光】(Monochromatic light ; Single-color light)

由鈉發出的黃色光，或由連續光譜中取出的一種光，如紅色光等，

使其通過稜鏡後，穿出來還是同樣色彩的光。像這種光叫單色光。

至於白色光則包含某限度之內所有的可折射光，每一簡單的單色光有一特定的可折射性——單色光是通過稜鏡後不能再色散的光。

發現這些事實是牛頓的偉大成就之一。今天我們可以再向前進一步，用更普遍的術語來說明什麼性質確定一單色光，以顏色上的意義來說是因為它的可折射性在光譜中有一精確的位置。光有波動的性質，不同顏色的光具有不同的振動頻率，可見的極端紫光的頻率差不多是可見極端紅光的兩倍。這個事實以可見光譜包括一個階程八度的顏色來表示，因為一個聲音的頻率是另一聲音的兩倍時叫做上八度音。如果欲表明某一綠色光，它在一指定的稜鏡中偏折度正好是多少，因此在光譜中佔有一精確的位置，我們只需指出它的頻率是多少就可以了，不需要說明稜鏡的玻璃是那一種，稜角又是多少。頻率是單色光的區別號碼，正如頻率是純音的區別號碼一樣，通常單色光的頻率範圍都很小。

在眞空中所有各顏色的光速率相同，每秒 186,326 英里，即每秒 300,000公里。在一完整振動的時間內，波動正好向前進行了一個波長的距離，所以將波長乘以頻率就是一秒鐘中波所行經的距離，或是波的速率。給出頻率就和給出在眞空中的波長是相同的（眞空中的波長和空氣中的波長極近似，因為空氣的存在只小量的減慢了光速）。在固體或液體物質中，如玻璃和水，光的行進速率明顯的比在眞空中慢了許多，而每種特殊的顏色行進速率都不相同——事實上是速率的差異而引起可折射性的不同。所以某特殊光的波長在不同的物質中也不相同，但頻率則處處相同。

【單位】(Unit)

長度、質量和時間的三個單位，稱為基本單位。

科學上最常用的單位系統有三，其一為米－仟克－秒制（*M.K.S.*制）；其二為高斯制，在此系統中之基本力學單位為厘米－克－秒（*C.G.S.*制

）；其三爲英制工程單位系統（呎－磅－秒制），或稱F.P.S.制。克與仟克爲質量單位，磅爲力的單位。英制中質量單位爲斯勒格（slug），是受力一磅時產生1呎/秒^{2}之加速度的物體之質量。

【單位力】（Unit force）

加於單位質量而產生單位加速度之力爲單位力。質量的M.K.S.（米－仟克－秒）單位是仟克。質量的C.G.S.（厘米－克－秒）單位是克，定義爲仟克質量的千分之一。

在M.K.S.制中，單位力是使一仟克質量加速一米/秒^{2}之力；單位稱爲牛頓。在C.G.S.制，包括高斯制，單位力是使一克質量加速一厘米/秒^{2}之力，此單位叫做達因。因1仟克＝10^3克及1米/秒^2＝10^2厘米/秒^2，故1牛頓＝10^5達因。在英制單位之力爲磅。

在各單位制中，質量、長度和時間爲基本量。爲此等基本量選用標準，並由此等標準定義單位。力顯然爲導出量，由$\vec{F}=m\vec{a}$之關係決定。

【單位向量】（Unit vector）

一般指任何量度爲單位長度的向量。但常用以表示沿各坐標增加方向的單位長度之向量，它們的用途是將各向量的分量表現出來，例如$\vec{A}=A_1\vec{u_1}+A_2\vec{u_2}+A_3\vec{u_3}$，式中$\vec{u_i}$爲沿坐標$q_i$增加方向的單位向量，$A_i$爲$\vec{A}$沿$q_i$增加方向的分量。

若$\vec{u_1}$，$\vec{u_2}$，$\vec{u_3}$依序成爲右手螺旋式的正交組，則

$$\vec{u_i}\cdot\vec{u_j}=\delta_{ij} \qquad \left(\delta_{ij}=\begin{cases}0 & 若\ i\neq j\\ 1 & 若\ i=j\end{cases}\right)$$

$$\vec{u_i}\times\vec{u_j}=\vec{u_k} \qquad (i\neq j，且\ i,j,k\ 成循環順序)$$

$$\vec{u_i}\times\vec{u_j}=0 \qquad (i=j)$$

將向量用單位向量展開，則作各種運算時甚爲方便，例如計算純量積、向量積、散度、旋度時可應用上述公式，再將對應分量依定義計算

之。處理加減運算時亦然，例如：

$$\vec{A} = A_1\vec{u}_1 + A_2\vec{u}_2 + A_3\vec{u}_3$$
$$\vec{B} = B_1\vec{u}_1 + B_2\vec{u}_2 + B_3\vec{u}_3$$

則 $\vec{A} \pm \vec{B} = (A \pm B)\vec{u}_1 + (A_2 \pm B_2)\vec{u}_2 + (A_3 \pm B_3)\vec{u}_3$

【單位固體角】(Unit solid angle or steradian)

爲一圓錐之固體角，此圓錐在單位弧度之球體中心具有其頂點，切取球體之表面上單位面積所成之角。如圖 12—22 所示。

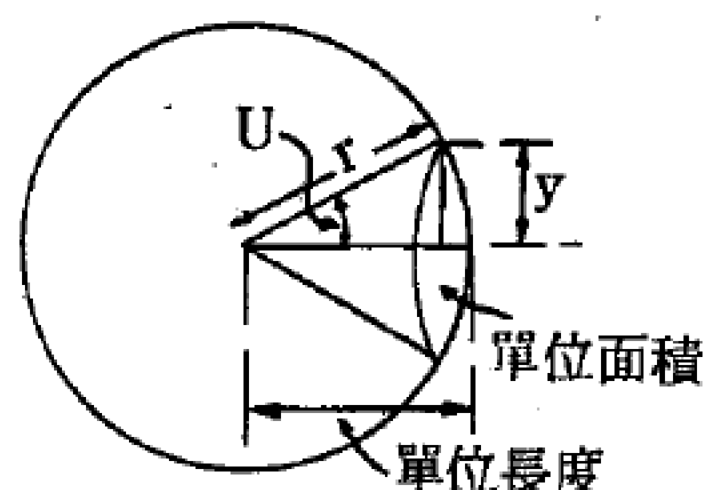


圖 12 — 22

故任一固體角之値等於包括在此角中之球體之表面面積除以球之半徑平方。故球體表面之部分面積 $= \pi y^2$ 但 $y = r \sin U$，故固體角爲

$$\frac{\pi r^2 \sin^2 U}{r^2} = \pi \sin^2 U$$

【單位矩陣】(Unit matrix)

任何矩陣 A 和 B，若滿足 $AI = A$，$IB = B$ 時矩陣 I 稱爲單位矩陣。由定義可知 I 爲正方矩陣，其階數等於 A 的行數或 B 的列數。矩陣 I 的對角線上各元素爲 1，其餘爲零，故此矩陣的元素可以用 δ_{mn} 表示，即

$$\delta_{mn} = \begin{cases} 0 & m \neq n \\ 1 & m = n \end{cases}$$

例如三階的單位矩陣爲

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

【單位晶胞】(Unit cell)

取晶體中的某一部分，如經過適當的平移作用後，可完整的充滿整

個晶體，而無空隙，也沒有重疊，則所取的這一部分即稱爲單位晶胞；換言之，即是由三個不同方向的基本晶格平移向量所形成的立體，即稱爲單位晶胞。

【單位極】(Unit pole)

測量磁極強度單位。兩同名之磁極彼此距離一厘米其斥力爲一達因時的磁極。

【單位電荷】(Unit charge)

指一個電子所荷之電量。

【單位電動勢】(Unit of electromotive force)

當通行之電流爲一個單位，而維持此電流之功，每秒需一個爾格時，其所生之電動勢，即爲單位電動勢。

【單位熱量】(Unit of thermal)

一單位質量之水之溫度減少或增加一度時其所收入或放出之熱量稱爲單位熱量。

【單位磁極】(Unit magnetic pole)

置於眞空中而相距一厘米之兩等強磁極，若其間之作用力恰爲一達因，則稱每一磁極爲一單位磁極。

【單性流體說】(One fluid theory)

各種電的現象乃由物體所含之“電的流體”過多或過少而起。是爲電之單性流體說。

【單相】(Single phase)

維持電路或機件單一個交流電壓。

【單相交流電路】(Single A.C. circuit)

只具有單一位交流電源的電路。圖12—23示交流電路(*A.C.*)在一個完整的週期中，電壓和電流爲時間的函數。

A.C. 供電的頻率在歐洲和美洲都已標準化，前者爲 50 赫茲，後

者爲60 赫茲，電壓和電流的方向每週期變換兩次，在正副尖峯之間以正弦波震動。將每一週轉分成360度，則週期中的任何一小部分都可以度數表示。圖12—23示電流落後（*lagging*）電壓的情形。這種情形是在電路中有所謂感應負荷時發生，如電動機一樣具有線圈，電流通過時產生磁場。週期中電流落後電壓的角度叫做相角θ；圖12—23中所示的特殊情形爲30°。相角爲90°的意思是指電流通過零值的瞬間電壓恰好達到它的尖峯值。

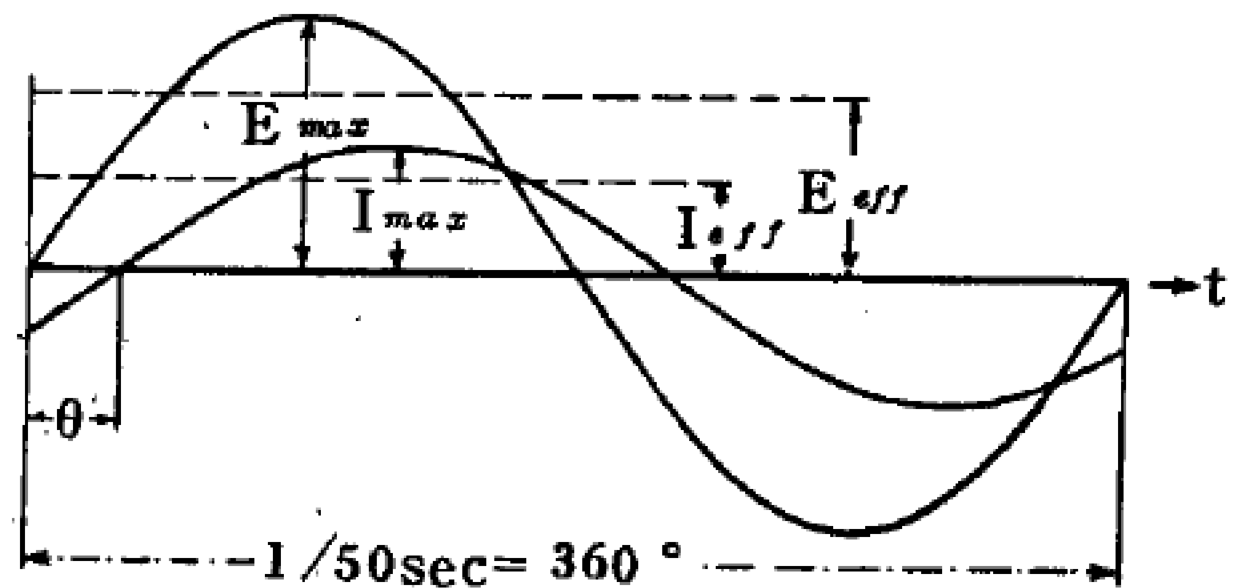


圖 12 — 23

一條*A.C.*電路的主線電壓值，不是指週期性變化電壓的尖峯值E_{max}，而是所謂有效電壓（*effective voltage*）。這是指其相當的*D.C.*電壓通到一歐姆值的電阻上或通到白熱燈的燈絲上，即能產生如*A.C.*電路相同的焦耳熱量。電壓和電流在尖峯值和有效值之間的關係，如下列方程式

$$E_{max}=\sqrt{2}E_{eff}$$

$$I_{max}=\sqrt{2}I_{eff}$$

這關係的圖解說明見圖12—23中的水平虛線。從零線算起的距離就是電壓和電流的有效值。

在*A.C.*電路中所消耗的功*P*用下式表示

$$P=E_{eff}\cdot I_{eff}\cdot \cos\theta$$

即

$$P=1/2\ E_{max}\cdot I_{max}\cdot \cos\theta$$

它與*D.C.*電路中表示功的特性差異爲因數$\cos\theta$，當角度θ從0°增加到90°時，$\cos\theta$從1變到0。若在電路中插入一根純歐姆而無感應作用的電阻，即一根不引起（或極少而不生影響的）磁場的電阻，則相角θ爲0，$\cos\theta=1$，因此功的消耗量和同樣電壓的*D.C.*電路功相等。相反地，若我們在*A.C.*電路中插入一根純感應作用而非歐姆的電

阻，例如將粗銅線線圈繞在環形鐵芯上，則相角將會接近90°，而$\cos\theta$接近0，因此雖有相當大的電流通過線圈，但實際上不消耗功。在這種情形，我們叫它爲無功電流（*wattless current*）。例如，在精工製造的變壓器中，如把初次繞組聯結到A.C.電壓的電源，而二次電路保持開放時，就有這種情形。在這種情形之下當然沒有作功，但當我們將二次繞組與負荷接通，如燈泡或電動機，則相角就會下跌到90°之下，而必須爲消耗的延時付款。

【單相發電機】（Single phase dynamo）

電樞上僅有一組線圈的發電機。

【單原子分子】（Monatomic molecules）

當物質，如惰性氣體，代表性的質點爲原子時，分子一辭亦包括原子。我們可稱爲單原子分子。

【單級火箭】（Singlestage rocket）

單級火箭推進劑的衝比，雖在化學家精心研究之下，差不多已達到極點，如300～400秒已算很高的了。火箭的質量比，雖然工程師竭力找輕巧堅強的材料，能做到十左右已經很不錯。單級火箭的終點速度畢竟有限。長距離的洲際飛彈、人造衛星以致於飛離地球所需要的終點速度很高，往往是單級火箭辦不到的事，在這種情形下，只得靠幾級火箭接力。

【單狹縫之繞射】（Single-slit diffraction）

利用單一狹縫所觀察出的繞射現象。作此實驗時最需注意者爲狹縫只能等於少數幾個波長。其原理爲：

1.離狹縫很遠處任一點，不論其是否在狹縫中心線上，到狹縫中各點光源之連線可視爲互相平行。

2.將狹縫中各點光源成對組合，分別考慮其重疊作用。組合時各對中波程差爲λ之整數倍者加強，波程差爲$\frac{\lambda}{2}$之整數倍者抵銷。

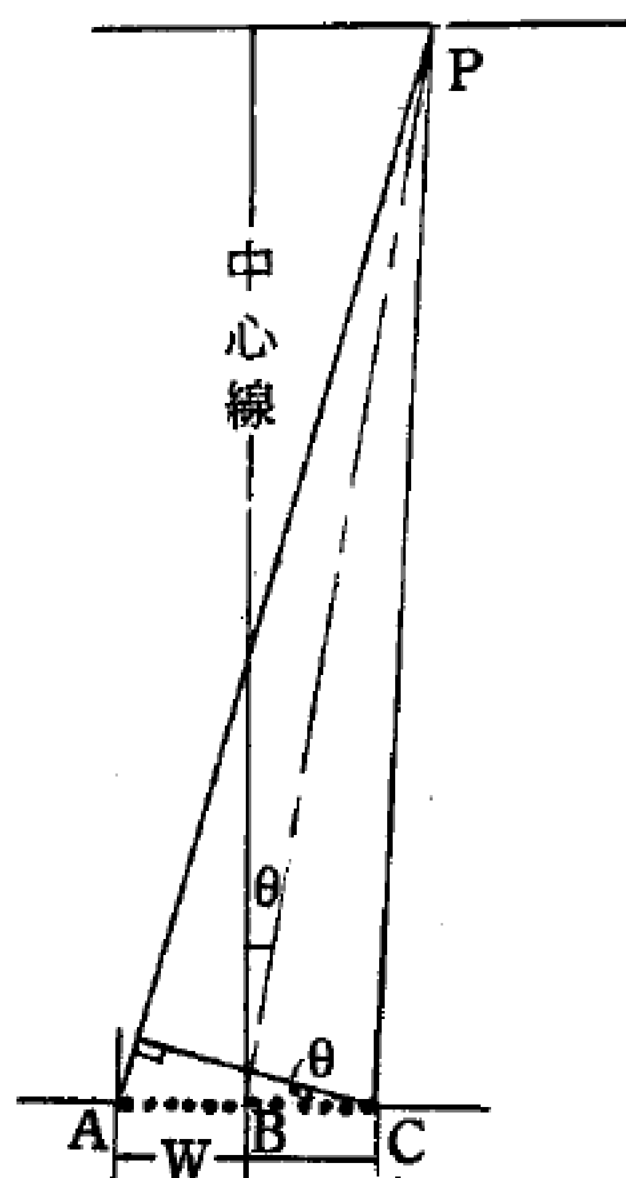


圖 12 — 24

其加強或抵銷各處之分析如下：

1.狹縫正前方，即中心線上一點，如圖12—24 所有波源到達此點之路徑幾乎相等，故各點光源之波峯同時到達而加強，使沿中心線光波最強，形成中央明亮條紋。

2.圖中心線兩側如圖 12—25。

(1) $PA-PC=\lambda$ 時，如圖 12—25，$\sin\theta=\frac{\lambda}{W}$，此時$C$左第一點與$B$左第一點波程差為$\frac{\lambda}{2}$，在$P$點處作抵銷性干涉，$C$左第二、第三……各點依次與$B$左第二、第三……各點波程差均為$\frac{\lambda}{2}$，所以均在$P$處抵銷。因之$P$點成一暗點。

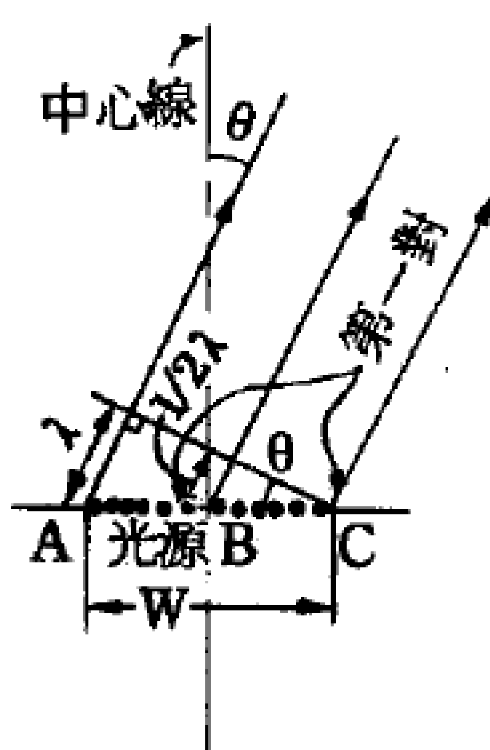


圖 12 — 25

(2) $PA-PC=2\lambda$時，如圖 12—26，$\sin\theta=\frac{2\lambda}{W}$。

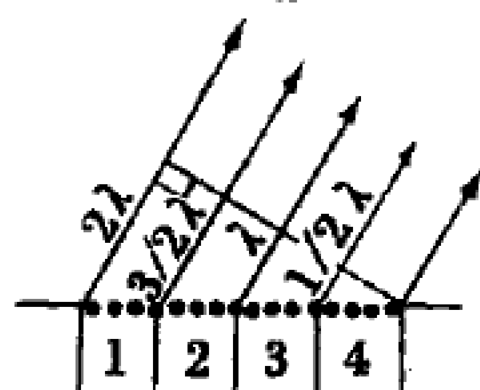


圖 12 — 26

此時可將狹縫光源分成四區。1,2兩區之波相對應者抵銷，3,4兩區之波相對應者亦抵銷，故此時之P點處亦形成暗點。

(3) $PA-PC=\frac{3}{2}\lambda$時（如圖 12—27），$\sin\theta=\frac{\frac{3}{2}\lambda}{W}$，此時可將狹縫光源分成三區，相鄰兩區之對應各點波源所發之波亦抵銷，但仍剩下一區除兩端之點之波程差為$\frac{\lambda}{2}$外，餘均小於$\frac{\lambda}{2}$，故僅$\frac{2}{3}$之光源互銷，而仍有一部分未抵銷。此時之P點處形成一亮度較中央明紋大為減弱之亮點。

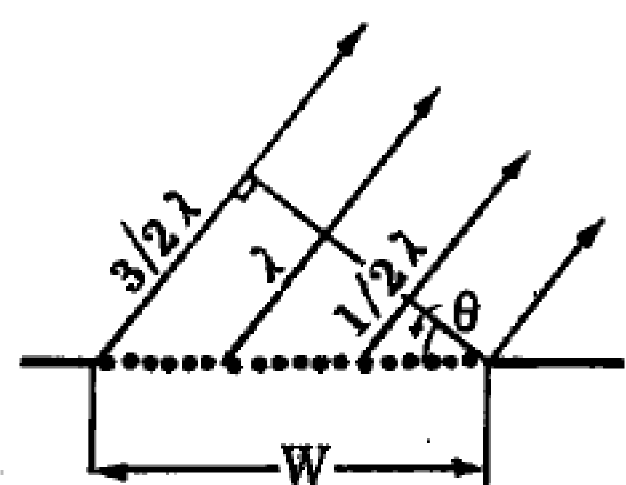


圖 12 — 27

(4) $PA-PC=3\lambda$ 或 4λ ……等時，在P點形成暗點 $PA-PC=\frac{5}{2}\lambda$

或$\frac{7}{2}\lambda$……等時，在P點形成亮度遞弱之亮點。

如圖 12－28，設P點在狹縫中心線偏右或偏左之角爲θ，則有下列三種情形：

1. 當$\sin\theta=\frac{n\lambda}{W}$，$n=1,2,3,4\cdots$時，於$P$處呈現暗紋。

圖 12－28

2. 當$\sin\theta=\frac{n\lambda}{2W}$，$n=1,3,5,7\cdots\cdots$時，於$P$處呈現亮紋。

3. 狹縫中心線上出現中央明紋，亮度最大。

從單狹縫射來之光將生繞射現象，其中央明紋較兩側暗紋間隔寬兩倍。且各明紋亮度由中央向兩側依次遞減。利用繞射作用可以求出各色光之波長如下式：

$$\frac{\lambda}{W}=\sin\theta=\frac{X}{L}$$

式中W爲狹縫寬度，X爲中心線右側或左側第一暗紋至中心線之距離，L爲幕至狹縫之距離（L爲相當大時）。

【單接合式電晶體】（Unijunction transistor）

此種電晶體只有一個P-N接合面。而P-N-P接合式電晶體與N-P-N接合式電晶體，都有兩個P-N接合面存在。此單接合式電晶體比起一般電晶體來，其特性有很大的改進，能適用於振盪器方面的各種電路。

圖 12－29爲單接合式電晶體的構造與電路符號。此電晶體包含有兩個基極，通稱爲第一基極（b_1）及第二基極（B_2），此兩基極連接於N式矽的兩端，如圖12－29(a)所示。在N式矽的另一邊接近第二基極（B_2）端，爲P式矽與N式矽的整流接合面，P式矽也就是電晶體的射極。

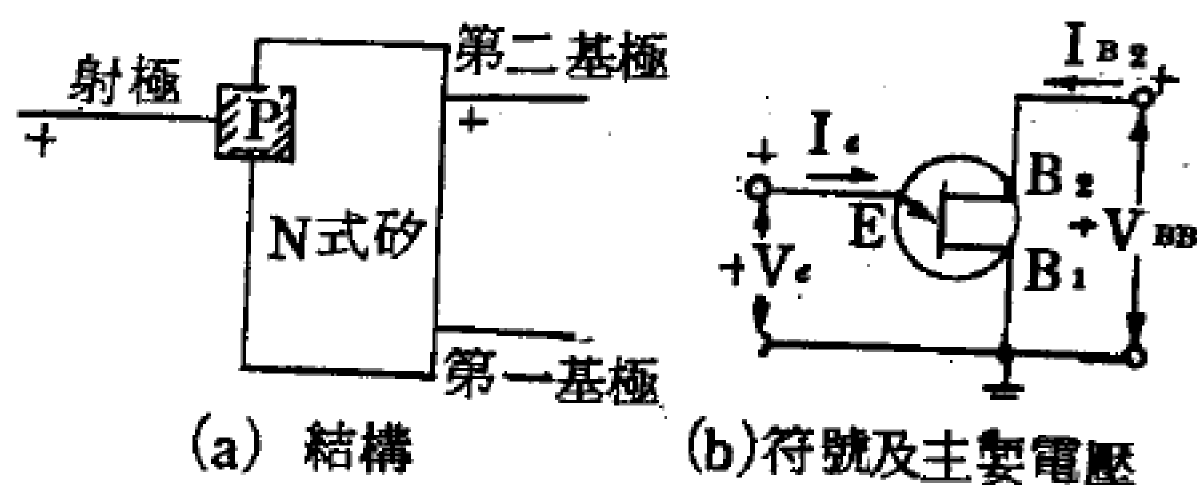


圖 12－29 單接合式電晶體

兩基極間的電阻簡稱基極間電阻（*interbase resistance* R_{BB}）約5,000～10,000歐姆（Ω）。正常作用下，第一基極接地，第二基極接一正電壓（V_{BB}）。當無射極電流（I_2）時，N式的本身就如同一普通分壓器（*voltage divider*），因此在射極端就有第二基極外加電壓（V_{BB}）的部分電壓存在（也就是分壓電壓）。如果射極本身的外加電壓（V_e）小於上述的分壓電壓時，此接合面的電壓就呈逆偏壓，因此射極內只有非常小的射極漏電流（*leakage current*）存在。當外加射極電壓（V_e）大於分壓電時，接合面就呈順向偏壓，射極內就有正常的射極電流（I_e）流動。射極電流（I_e）是由電洞構成，電洞由射極經接合面，向N式矽第一基極擴散，當電洞到達第一基極的同時，就有與電洞相同數目的電子被吸引，向第一基極與射極間的區域移動。此電子數增加的淨值，就等於射極與第一基極間電阻之減小。結果集極電流的增加，反而造成電阻及電壓的降低，此特性稱爲負電阻（*negative resistance*）特性。負電阻特性在振盪器與定時電路（*timing circuit*）中是不可缺少的。

參閱“振盪器（*Oscillator*）”條。

【單域粒子】（Single domain particle）

直徑大約小於10^{-4}或10^{-5}厘米的微小粒子通常只包含一個單獨的磁域，其磁化（*magnetization*）經常在飽和狀態，這種粒子稱爲單域粒子。

【單斜晶系】（Monoclinic system）

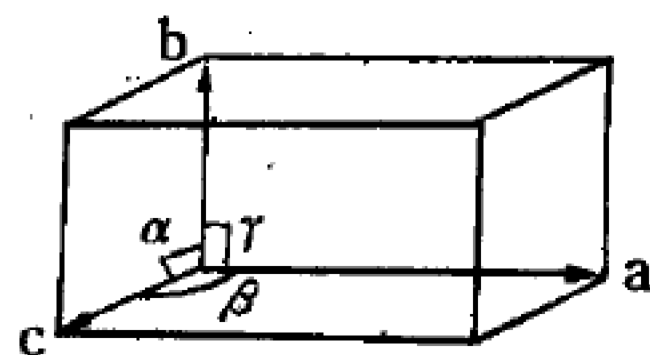


圖12－30

晶體可以晶格點描述之。設有一三維空間的晶體，任取一晶格點爲原點，任何其他晶格點都可以 $l = l_1\vec{a} + l_2\vec{b} + l_3\vec{c}$ 表示之，$\vec{a}$、$\vec{b}$、$\vec{c}$ 稱爲此晶體點的位置向量，l_1、l_2、l_3爲整數，則離原點最近的三晶格點的位置向量爲$\vec{a}$、$\vec{b}$、$\vec{c}$，若$\vec{a}$與$\vec{b}$、$\vec{b}$與$\vec{c}$、$\vec{a}$與$\vec{c}$的夾角分別爲γ,α,β，當$|\vec{a}| \neq |\vec{b}| \neq |\vec{c}|$

，$\alpha=\gamma=90°\neq\beta$時，這類晶體屬單斜晶系。

【單晶之晶面】(Surface of single crystal)

依結晶學之論點言，一個晶體，可有不同之晶面。簡單的立方晶體，它的晶面就可有甚多個。一個由甚多原子排成的單結晶，它的外表常不一定方方正正。也就是說不同之晶面常互相錯交成有稜有角的單晶。讓一個單晶固著不動，就得藉助X光繞射，來測定在某方向上此晶體之晶面種類。量測的方法是，先用勞厄攝影術拍取繞射圖案。再將所得之圖案與某種投影紙相比即得，乃名為吳爾芙(*Wulff Net*)之一種特別圖形紙。當然測定時，必須先知該晶體之成分、組成及其晶系。此亦可由繞射儀直接測出。

【單晶胞】(Unit cell)

一晶體格子(*lattice*)常由一最小單位結構反覆排列連接而成，晶體中的這種最小單位即稱單晶胞。

【單軸晶體】(Uniaxial crystal)

不產生雙折射的晶體。

【單鈕碳質微音器】(Single-button carbon microphone)

藉聲波壓力改變通過碳粒的電流而成，振膜的壓力是單向的。

【單循環反應器系統】(Single-cycle reactor system)

即直接循環反應器系統。

參閱“直接循環反應器系統(*Direct-cycle reactor system*)”條。

【單極單投】(Single-pole single-throw)

開關款式之一。

【單極發電機】(Unipolar dynamo)

只有一對磁極的發電機。

【單極開關】(Single-pole switch)

開關僅有一接觸點。

【單極雙投】(Single-pole double-throw)

開關款式之一。

【單端管】(Single-ended tube)

無管帽之電子管。

【單層】(Single layer)

線圈繞法之一種。

【單價元素】(Monogen)

只能放出或接受一個電子的元素。氟、氯、溴、碘、砈爲負一價，鋰、鈉、鉀、銣、銫及鍅等爲正一價。

【單線制】(Single wire line)

以地作輸送線廻路的一端。

【單盤控制】(Single-dial control)

由一個調節器控制幾個單位或不同之電路。

【單擺】(Simple pendulum)

單擺是一種理想化之物體，含有一質點，以不能伸長之細繩懸之。當拉往其平衡位置之一側而釋放時，因重力的影響擺在垂直面內擺動，而爲週期振盪運動。

如圖所示，單擺長度爲 l ，質點質量爲 m ，與垂直線成 θ 之角。作用於 m 之力爲重力 $m\vec{g}$ 和繩之張力 $\vec{T}$ 。選二軸，一切於圓一沿半徑。分解 $m\vec{g}$ 成大小爲 $mg\ cos\ \theta$ 的徑向分量及大小爲 $mg\ sin\ \theta$ 的切向分量。力的徑向分量供應保持質點在圓弧上運動所需之向心力；切向分量是回復力，作用於 m 使之返回平衡位置

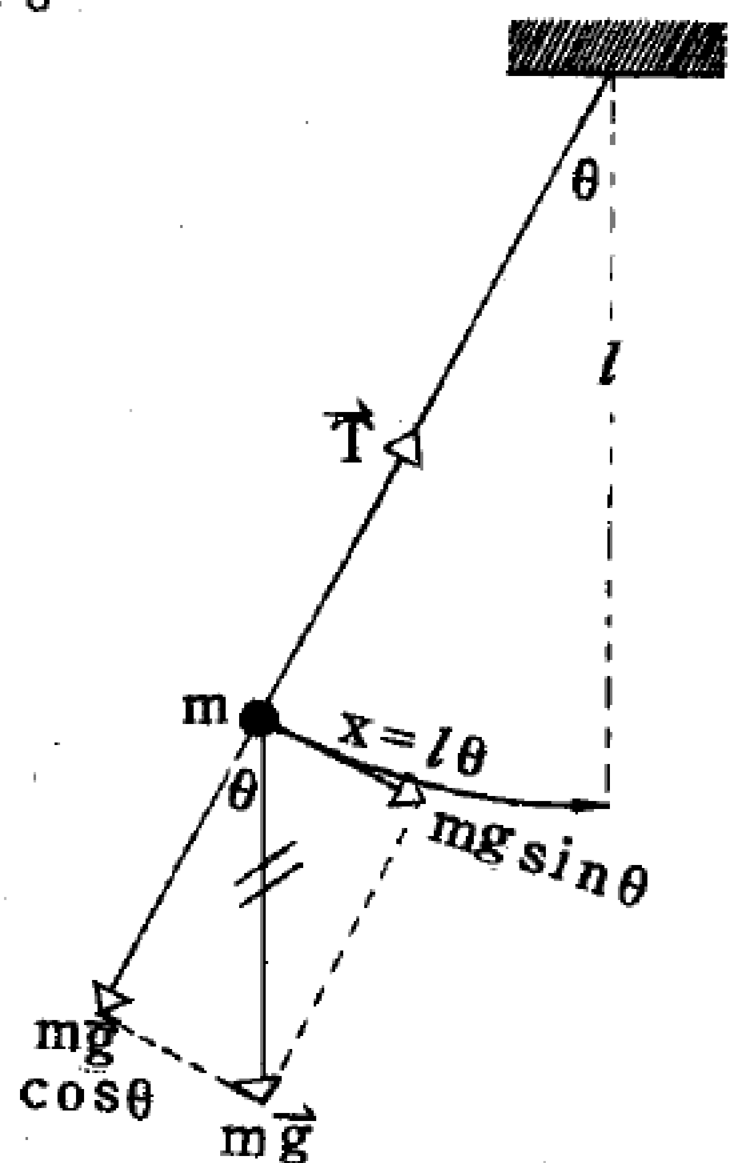


圖 12 — 31

作用於單擺之力爲繩之張力 $\vec{T}$ 和質量m的重量 $m\vec{g}$ ，已標明 $m\vec{g}$ 的徑向和切向分量的大小

。因之，回復力為

$$F = -mg\sin\theta \quad （負號表示力的方向和位移相反）$$

回復力不與角移 θ 成正比，而與 $\sin\theta$ 成正比，故不是簡諧運動。但若角 θ 甚小，以弧度為 θ 之單位，則 $\sin\theta$ 極接近等於 θ。例如 $\theta=5^\circ=0.0873$ 弧度，$\sin\theta=0.0872$，即使 $\theta=15^\circ$ 此兩值之差也僅為 1.1%，沿弧之位移為 $x=l\theta$，且在小角度時近乎直線運動。故設

$$\sin\theta \cong \theta$$

得

$$F = -mg\theta = -mg\frac{x}{l} = -\frac{mg}{l}x$$

所以位移甚小時，回復力與位移成正比而方向相反，這恰是簡諧運動之判別準則。常數 mg/l 代表 $F=-kx$ 式中之常數 k，試校驗 k 和 mg/l 的因次。當單擺的振幅甚小時其週期為

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{mg/l}} \quad 或\ T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

所以說，擺的週期和擺長的平方根成正比，和質點的質量 m 及振幅的大小無關。

但是，如果單擺的振幅不很小時，$\sin\theta\cong\theta$ 的近似關係就不能成立。

如果定平衡點的位能等於零，則單擺的位能函數就為

$$U(\theta) = mgl(1-\cos\theta)$$

而經過修正後的週期公式可用級數表示為

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\ 1 + \frac{1}{2^2}\sin^2\frac{\theta_0}{2} + \frac{1}{2^2}\frac{3^2}{4^2}\sin^4\frac{\theta_0}{2} + \cdots$$

有時也有採用下修正式者

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{1}{16}\theta^2\right)$$

當 $\theta=23^\circ$ 時（0.4014 弧度），$\frac{1}{16}\theta^2$ 的修正量還不到 1%。

【單擺之等時性】(Isochronism of pendulum)

單擺的長度如一定且振幅不太大時，單擺的週期與小錘的質量、振幅無關，總是一定。這叫單擺的等時性。

【單擺定律】(Law of simple pendulum)

單擺振幅不甚大($\theta \leq 5°$)時，其週期與擺錘之質量及振幅無關，僅與擺長之平方根成正比，此稱爲單擺定律。

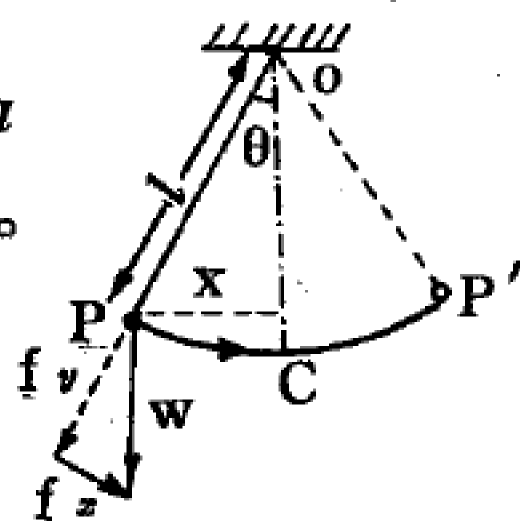


圖12－32

由圖12－32知，$f_x = w\sin\theta = mg\sin\theta = -ma$ (f_x與擺錘位移方向相反；a爲由f_x產生的加速度)。

所以 $\frac{a}{g} = -\sin\theta \doteq -\theta$

當$\theta \leq 5°$ 時 $\sin\theta = \theta$ (弳數)

即　$r = x \doteq \widehat{PC}$　　(r 表最大振幅)　　故　$\theta = \frac{r}{l}$

即　$-\frac{a}{g} = \frac{r}{l}$　　故　$a = -\frac{g}{l}r$　($\frac{g}{l}$爲常數)

此時之單擺運動卽爲簡諧運動，故

由週期公式　$T = 2\pi\sqrt{\frac{x_{max}}{a_{max}}} = 2\pi\sqrt{\frac{r}{\frac{gr}{l}}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

當$\theta = 0°$時 $\cos\theta = 1$因此錐動擺運動之週期亦可化如上式。故單擺亦可視爲特殊情況的錐動擺；或θ不甚大時之錐動擺爲特種單擺的參考圓周運動。

單擺具有等時性，重力加速度一定時，$T_1^2 : T_2^2 = l_1 : l_2$，亦即 $n_1^2 : n_2^2 = l_2 : l_1$。由此可知在一地而擺長一定時，則其擺動之快慢必相等；調整鐘之快慢可依此。擺長一定時，$T_1^2 : T_2^2 = g_2 : g_1$。由此可測重力加速度爲$g = 4\pi^2\frac{l}{T^2}$。亦可推論秒擺(週期恰爲2秒)之擺長 $l = \frac{g}{\pi^2}$。在振幅甚小時，單擺亦具簡諧運動($S.H.M.$)之特性，故亦屬簡諧

運動。

【單擺時鐘】(Single pendulum clock)

單擺時鐘是利用單擺的等時性以度量時間。單擺時鐘到夏天時容易慢下來，是由於氣溫上升，擺膨脹而增長，週期加長的關係。要改正它的慢，可以把小錘的位置向上調整，縮短擺長。

【單邊帶通信】(Single side band transmission)

一種無線電通信方式，在此種通信方式裏，輻射出去的只是已調波的一個邊頻帶，而在調制時所獲得的載頻和另一個邊帶都被抑除了。獲取邊帶的方法有很多種，其中最簡單的是利用平衡調制以消除載頻，而用濾波器去掉另一個邊帶。為了接收單邊帶發射，在接收電臺中應當使載頻恢復過來，欲達這個目的，便採用了專門的振盪器，其頻率係由某種方法保持著與發射臺的載頻相等。單邊帶通信雖然會使接收設備複雜一些，但與普通的通信方式（既發射載頻，也發射兩個邊頻）相比，仍具有一系列的優點，其中主要的一點，就是無線電發射臺的功率利用率要大得多。

【單繞變壓器】(Single coil transformer)

亦稱可變變壓器或自耦變壓器。在鐵芯上繞以如圖 12—33所示的線圈，以一根導線兼原線圈與副線圈。因二輸出端的端子可以在線圈上移動，自由調整副線圈的圈數，所以可以任意改變輸出端的電壓。

實驗用的可變變壓器，通常是輸入電壓為100V，輸出電壓可在0～130V之間變動。

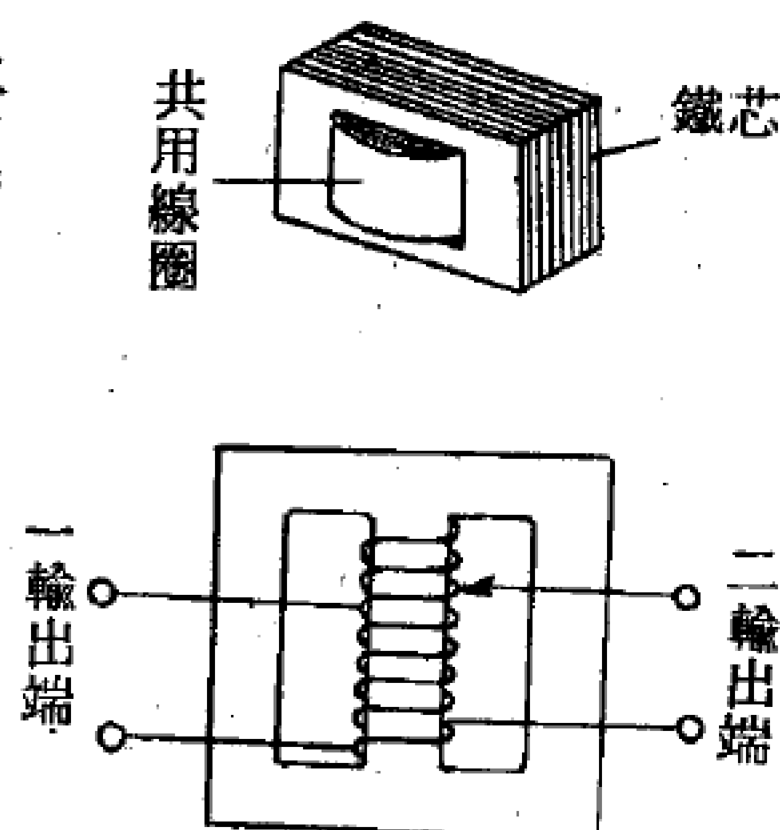


圖 12—33　可變變壓器

【單顯微鏡】(Simple microscope)

將物體放在凸透鏡的焦距內，使正立擴大的虛像映現於明視距離處，此凸透鏡名為單顯微鏡，又名放大鏡（*magnifying glass*）。

凡凸透鏡欲作單顯微鏡用，必選擇其焦距較明視距離小者，故物體之像，生於明視距離P'時，其物體所占之位置，離焦距F不甚遠，如圖12—34，物體AB與像$A'B'$，作同角於透鏡中心，使眼與透鏡密接，則實物與像所作之視角同，因之其外觀之大亦同。

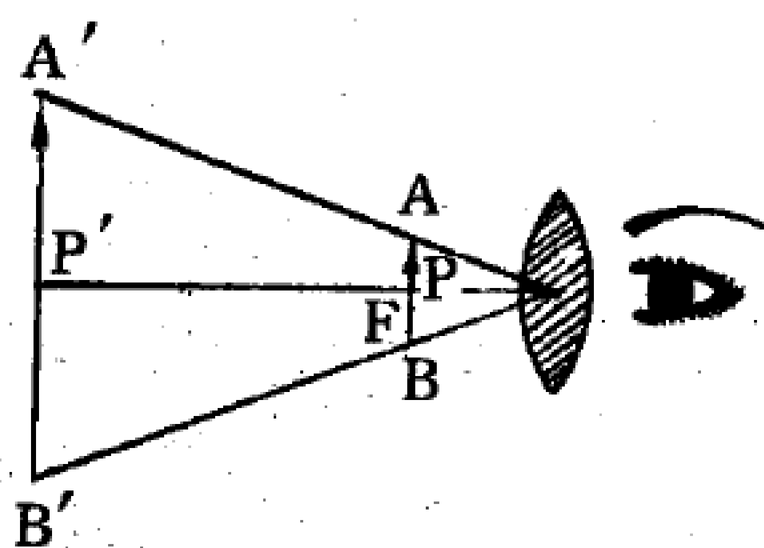


圖12—34

單顯微鏡之放大率，以焦距除明視距離而得。令自透鏡至線之距離是P'，即明視距離爲P'，通常選用者爲10吋或25厘米，焦距是F公分，則

$$放大率=\frac{P'}{F}=\frac{25}{F}$$

參閱"放大鏡（*Magnifying glass*）"條。

【喞筒】（Pump）

喞筒乃吸取流體之機器，使流體自一處流至他處，又稱幫浦。

【喉微音器】（Throat microphone）

微音器的機械振動靠接觸喉部而來。

【啻丹】（Titan）

土星之衛星。

詳閱"土星（*Saturn*）"條。

【圍包】（Blanket）

一層置於反應器可裂材料周圍的可孕（分裂）材料（*fertile material*），例如鈾－238，或釷－232即是。

【圍阻】（Containment）

是指裝設在反應器周圍不透氣的殼或其他的圍牆，以防意外事件發生時，用來圍控分裂產物散播到大氣中。

【圍阻容器】（Containment vessel）

圍繞反應器四周的一種不透氣殼，或其他的圍牆。

【報表語言程式】(Report program generator ; R.P.G.)

報表語言程式的目的在使電腦根據我們投入的資料 (*input data*) 製出我們所需要的報表。其作用 (*functions*) 簡介如下：(1)編製報表 (*report writing*)(2)全數打卡 (*summary punching*)(3)合併與配對卡片 (*merge & match*) (4)計算 (*calculating*) (5)複製新卡 (*reproducing*)(6)譯印 (*interpreting*)(7)選卡 (*card selection*) 。

對於*R.P.G.* 的簡單操作程序及如何用*R.P.G.* 來編製報表的方法，如圖12—35之流程圖與簡單的說明作一個概括性的介紹，藉以幫助我們對它的瞭解。

1.程式員必須估計報表的需要以定投入資料的形態和所產生報表之格式。

2.程式員對發生的問題及報表的需要加以瞭解與估計後，緊接著就須將這些所得到的資料應用於*R.P.G.* 程式。通常，*R.P.G.* 有其特別設計的五種表格，我們在寫作程式時，僅須根據實際資料在這些表格之適當欄裏填寫所規定的適當字母或數字。這四種表格的名稱是輸入程式書 (*input specification*)、計算程式書 (*calculation specification*)、輸出程式書(*output specification*)、卷描程式書 (*file description specification*) 。

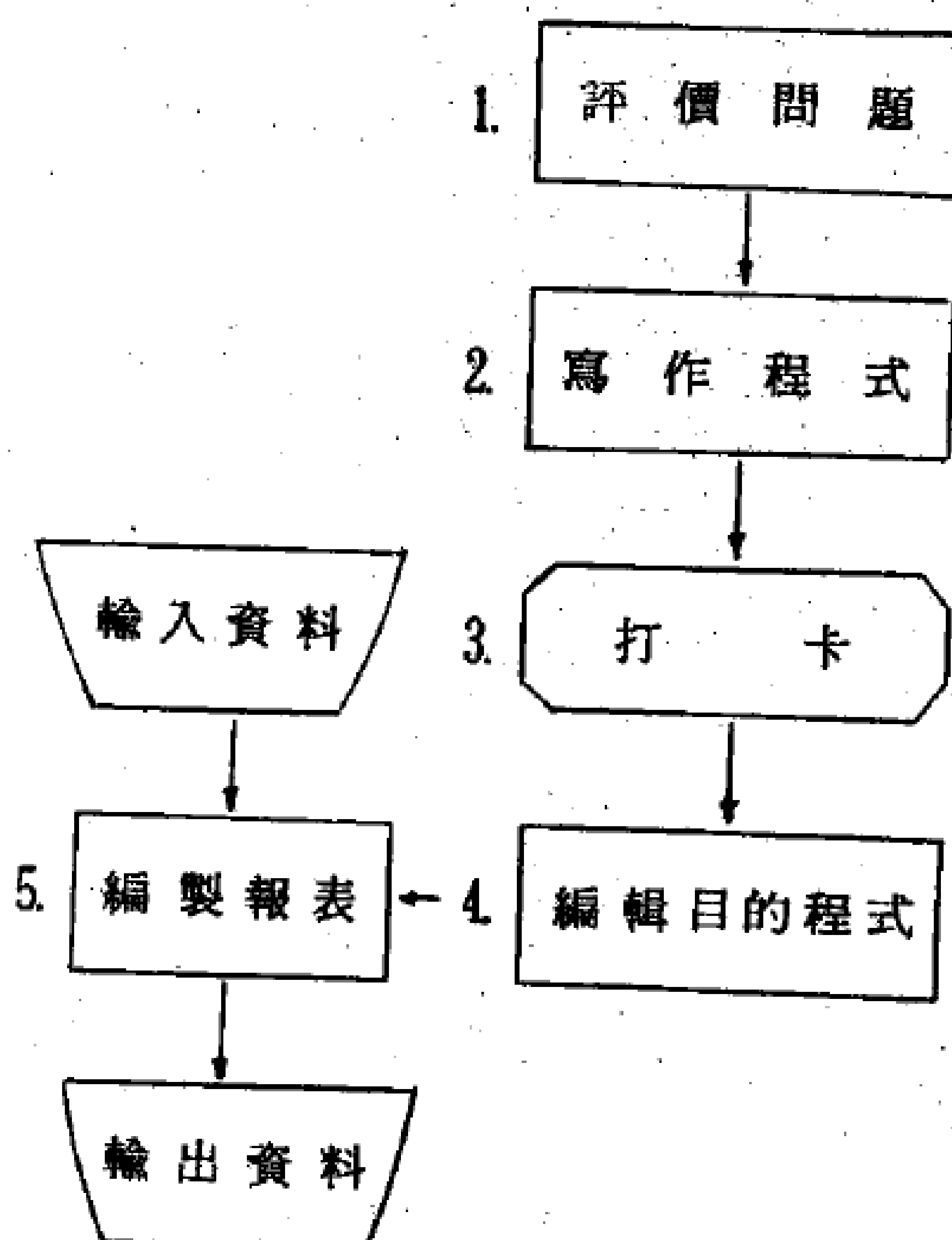


圖12—35　R.P.G.寫作過程流程圖

3.程式員將以上所說的程式書按欄填寫完畢後，即將這些程式書交由打卡人員按行打成原始檔卡 (*source deck*) 。

4.這些原始檔卡再與*R.P.G.* 程式形成卡（ *R.P.G. generator* ）混合放進電腦中處理。處理完畢後，這種能編製報表的程式即告形成而且被儲藏在電腦的記憶裏，這種程式即所謂的目的程式，它含有編製某種報表所需要的各種指令。

5.接著，我們便可將日常所發生的交易資料卡（ *datacards*）讀入電腦，開始進行報表之編製。卡片讀畢，報表即編輯而成，同時，如情形需要，尚可做全數打卡（ *punch summary cards* ）或選出某種讀進的卡片。

【報時信號】（ Time signal ）

電臺依時公告之標準時間信號。

【報務員】（ Operator ）

在電臺專責通信工作之守值人員。

“*OPR*” 爲通訊用的“報務員”縮字。

【報務員執照】（ Operator's licence ）

分甲、乙及特種三等執照。

【報頭】（ Preamble ）

電報臺對每封電報之編配格式，包括號數、字數、時、日等。

【報警信號】（ Alarm-signal ）

無線電報用 *S.O.S.* 〔 *save our souls* （ *or ship* ）; *suspend other service* 〕，無線電話用*Mayday*。

【提防與水壓】（ Dike and water pressure ）

水壩或河川的提防，都是愈往底部愈厚，這是由於考慮愈往底部水壓愈大，加於提防的壓力也愈大的關係。如圖 12—36所示。

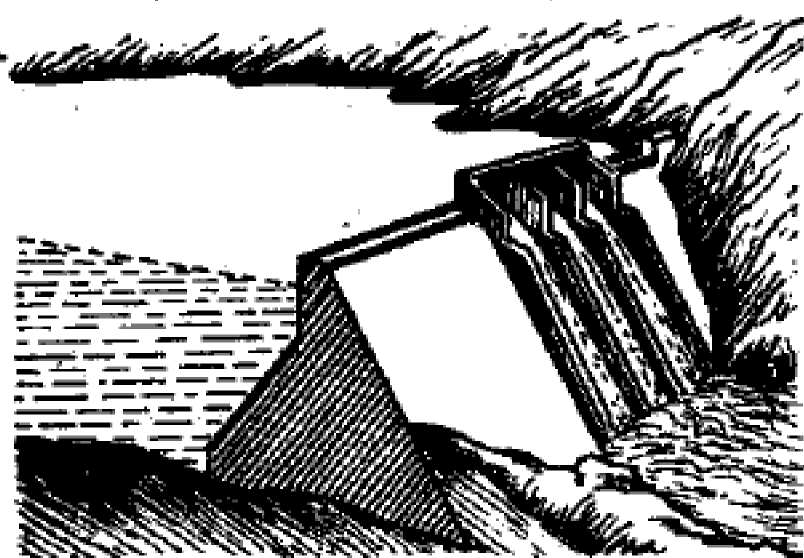
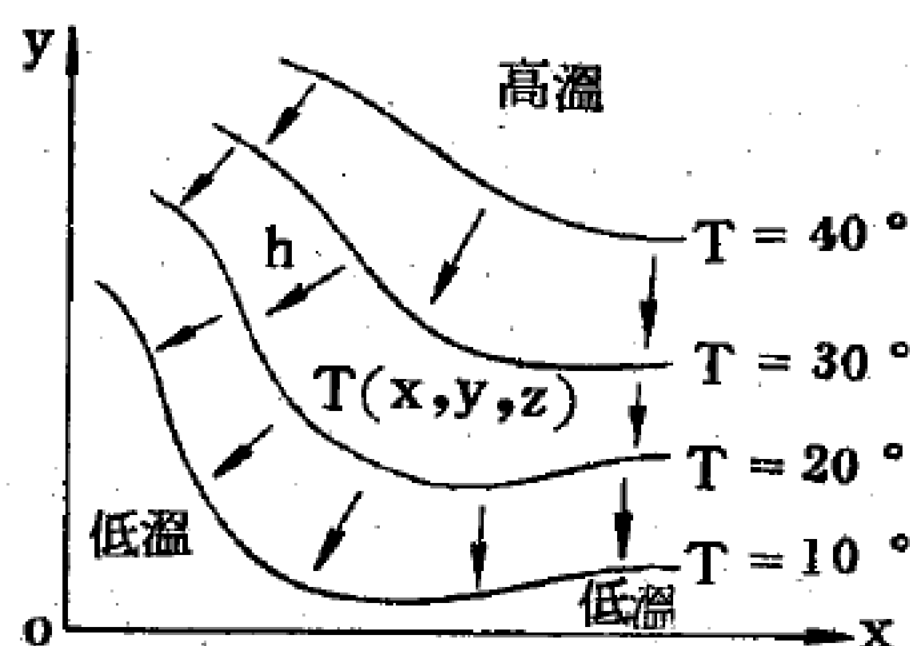


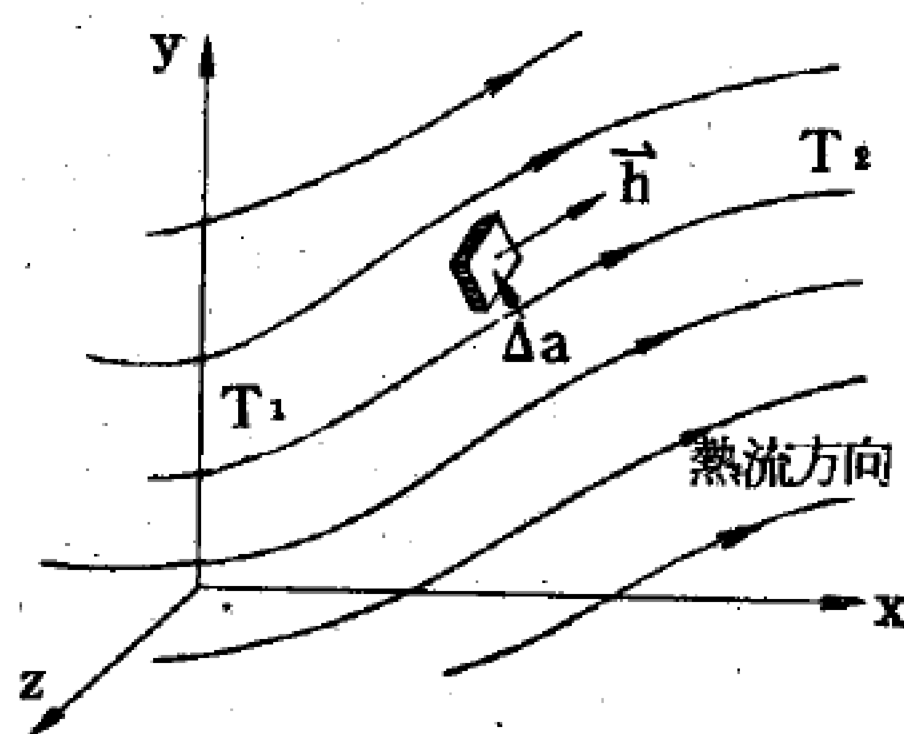
圖 12 —36　水壩

【場】(Field)

一個"場"是任意一物理量，它在空間不同的地方有著不同的數值。例如溫度是"場"，它是一個純量場(*scalar field*)，可以將它寫爲 $T(x,y,z)$。溫度也可以隨時間而變化，故溫度場是隨時變的(*time-dependent*)，並將它寫爲 $T(x,y,z,t)$。另外一個例子是流體的速度場(*velocity field*)，將流體在空間任意一點及任一時間的速度寫作 $\vec{v}(x,y,z,t)$，它是一個"向量場"(*vector field*)，如圖12—37。場有一個非常重要而又簡單的特性：任意二鄰近之點的場值間的關係是非常簡單的。只要找到幾個這種關係，用微分方程式表示出來，那麼整個場的性質就可以知道了。



(a)溫度場是一個純量場，圖中顯示溫度隨著位置而變化



(b)熱流是一個向量場的例子，圖中表現著從高溫度 T_1 到低溫度 T_2 的熱流，熱流 $\vec{h}$ 是一個向量，它是在單位時間內通過一個與 $\vec{h}$ 垂直的面單元 Δa 的熱能，除以面單元的面積

圖12—37　純量場與向量場之例子

有許多不同的方法可以幫助我們了解場的性質。最正確的也就是最抽象的：把場當作是位置與時間的數學函數。可以在空間畫許多向量來表示場，每一個向量告訴我們在這一點的場之大小與方向，這種方法可以用圖12—38 來說明。也可以畫許多曲線，這些線到處與該點的向量相切，因此這些線告訴了我們場的方向。但這樣一來就無法顯示場的強度了，不過可以將線畫密一點來表示較強的場，疏一點以表示較弱的場。取一個面垂直於這些線，令每單位面積通過的線數與場的強度成正比。這種方法當然僅是近似法，因爲很顯然只能表示出在一大塊

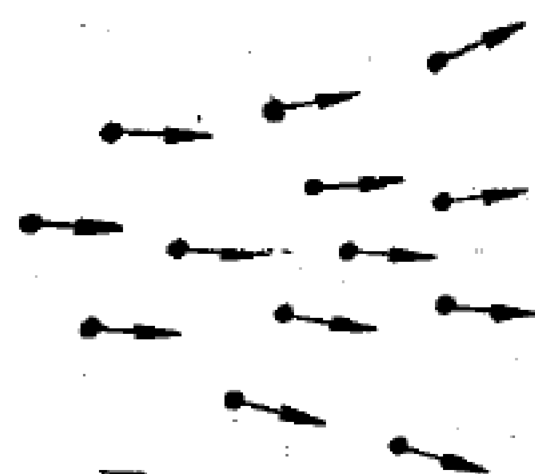


圖12—38
以箭頭表示向量場

區域中場的平均強度，而沒有辦法準確地表示一個小區域（對場線的距離而言）的場強度。有時當場的強度增加或減少，必須增加幾根或減少幾根線。圖12—38的向量場用場線（*field line*）來表示時就好像圖12—39所示。

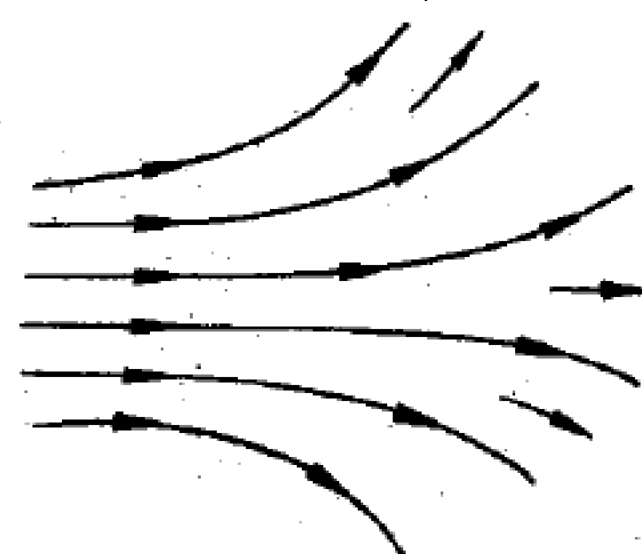


圖12—39
以場線表示向量場

物理上的許多交互作用能藉著“場”的觀念而得更清晰的描述，但並非所有的場都爲一交互作用。磁場、電場、重力場都是“場”的常見例子。

【場力】（Field force）

二物體有間隔時所發生之力，又名超距作用（*action at a distance*）。如重力（*force of gravity*）、磁力、靜電力等。

【場致電子發射】（Field electron emission）

金屬在強電場（每厘米10^6伏特以上）作用下，有電子發射現象，這種現象稱爲場致電子發射，或稱爲金屬冷電子發射。場致電子發射與肖特基效應（*Schottky effect*）的金屬熱電子發射不同。後者是由於電子跨越位壘而造成，金屬冷電子發射則由於電子穿透位壘而引起。

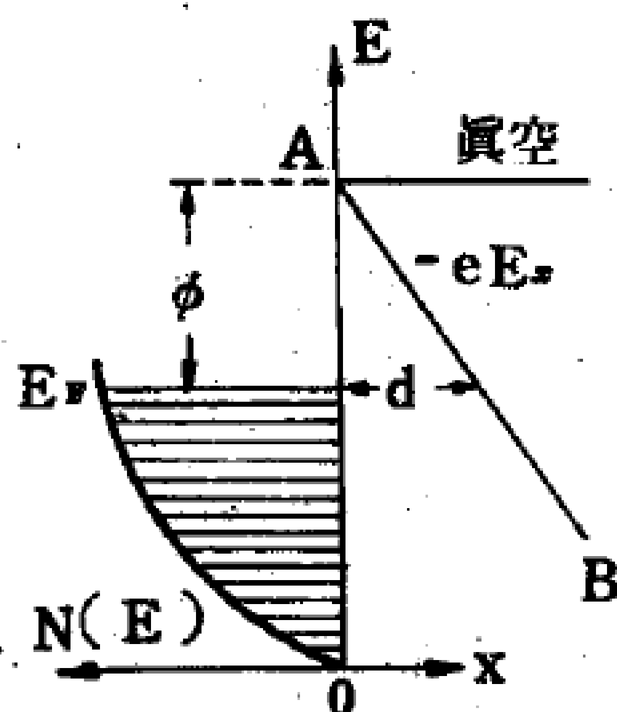


圖12—40

設在絕對零度時，金屬的位壘如圖12—40所示，金屬外的電子其位能爲$-eE_x$，即圖中的直線AB。當外加電場超過10^7伏特/厘米，而$d \leqq 10\,\mathring{A}$，$\phi \simeq 3eV$時，在費米能階附近的電子即能穿壘而出。如果所加電場增強，則依於費米能階的電子也能放出。根據法樂（*Fowler*）及諾海（*Norheim*）的理論，場致發射電子流與所加的電場強度關係爲

$$I = BE^2 \; exp\,(-\beta/E)$$

式中B及β均爲常數。

場致電子發射與溫度無絕對的關係。

【場發射】(Field emission)

由於表面存有強電場而使固體或液體發射電子的現象。

【場線】(Field line)

沿著電場的方向作電場的切線(如圖12—41),這些線叫做場線。

【場磁鐵】(Field magnet)

也叫定子(*stator*)。爲馬達中當作永久磁鐵作用產生磁場的部分,通常皆採用電磁鐵。

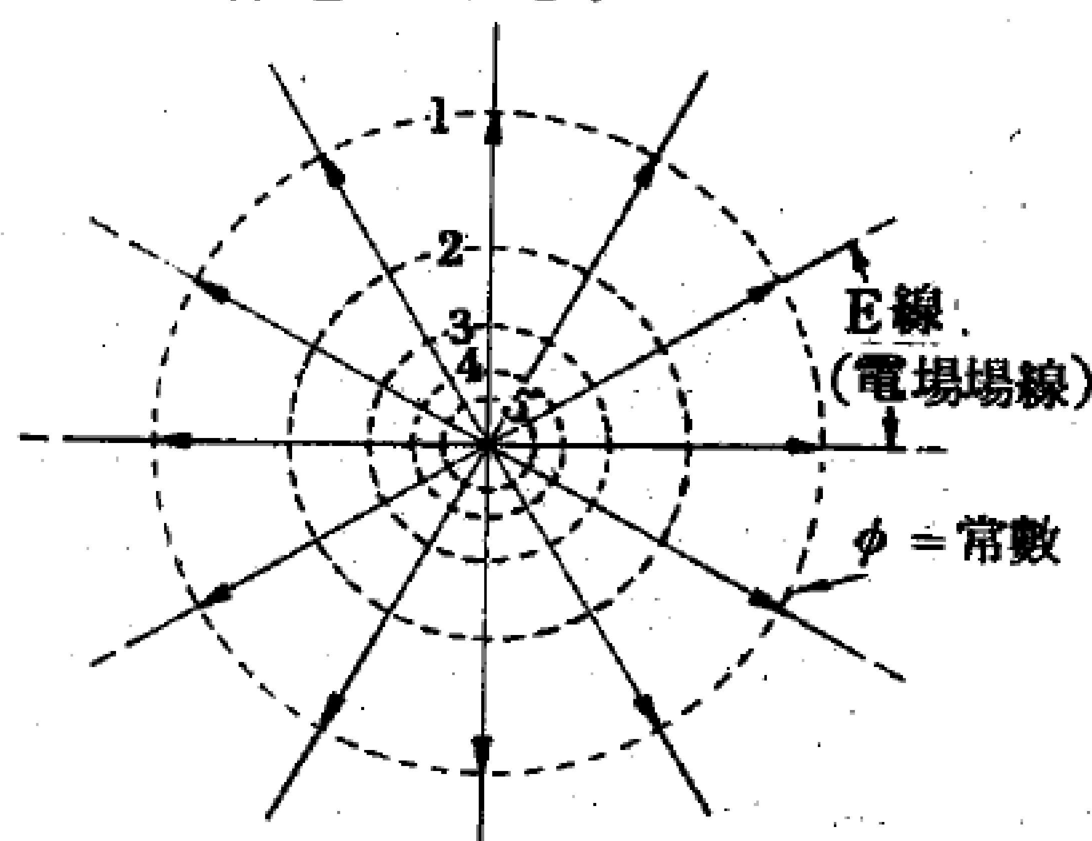


圖12—41　一正電荷的場線與等位面

【場擾動】(Field disturbance)

在電磁學中,若僅屬穩定電荷間之力的問題,則場與超距作用的觀點完全相同。設電荷 q_1 突然向右移動,電荷 q_2 會多快才知 q_1已移動及知道 q_2 所受之力應增加?電磁學說預期由 q_1 發出之場擾動以光速進行,使 q_2 獲知 q_1 的運動。超距作用觀點要求有關 q_1 加速之信息即時傳予 q_2,這與實驗並不符合。無線電發報機天線上之加速電子要在 l/c 時才影響遠處接收天線上之電子,l 是二天線的距離,c 是光速。

【媒介】(Medium)

例如固體、液體和氣體都可以做聲音的能媒。

【寒流】(Cold current)

寒冷的空氣由北方大陸像潮水一般湧流過來,而使天氣突然變冷的現象,便叫寒流。

寒流之造成乃因中國的北方和西北方是一塊世界上最大的大陸,這塊大陸的中心(西伯利亞和蒙古高原)和它以北的地區(靠近北極海地方),由於終年沒有陽光直射的機會,在春、秋、冬三季,白天地面受熱既短又少,夜晚地面散熱既長又多,再加上這些地方離開溫暖的海洋

較遠，很少受海洋的調劑，所以這些地方的地面和地面上的空氣是很冷的（冷到−30～−40°C都是很平常的)。冷的空氣它的密度比較大，往下沉；因此，這大塊地方就經常被冷空氣盤據著。但是冷空氣愈擠愈多，它的壓力也比較大，便要沿著地面向四周流出去。冷空氣迅速地向四周擴張，四周比較暖的空氣又從上面來補充它。補充來的空氣又逐漸變冷，等到時機到來它又一次向四周擴張，這樣循環不已，便造成一陣陣的寒流到溫帶來。

【寒暑表】(Thermometer)

即溫度計。

參閱“溫度計（*Thermometer*）”條。

【富利定理】(Furry's theorem)

在利用范曼圖（*Feynman diagram*）計算量子電動力學中的任何反應過程時，代表虛電子的封閉曲線與奇數個光子線相接時，它們的總和之功效恆等於零。

【富朗茲、克第西效應】(Franz-Keldysh effect)

半導體因受外加電場影響而改變其光學反射或透射性質的效應，可用以量度該半導體的詳細能帶結構。這現象固然有相當重要的應用，卻相當複雜而難以簡易徹底之分析。如圖12—42，乃反射性之相對改變$\Delta R/R$對入射單色光能量E的圖形；係對鍺（*Ge*）而作的實驗，應用特殊的交流電裝置（250 *cps*），調整外加電場並可測得此$\Delta R/$

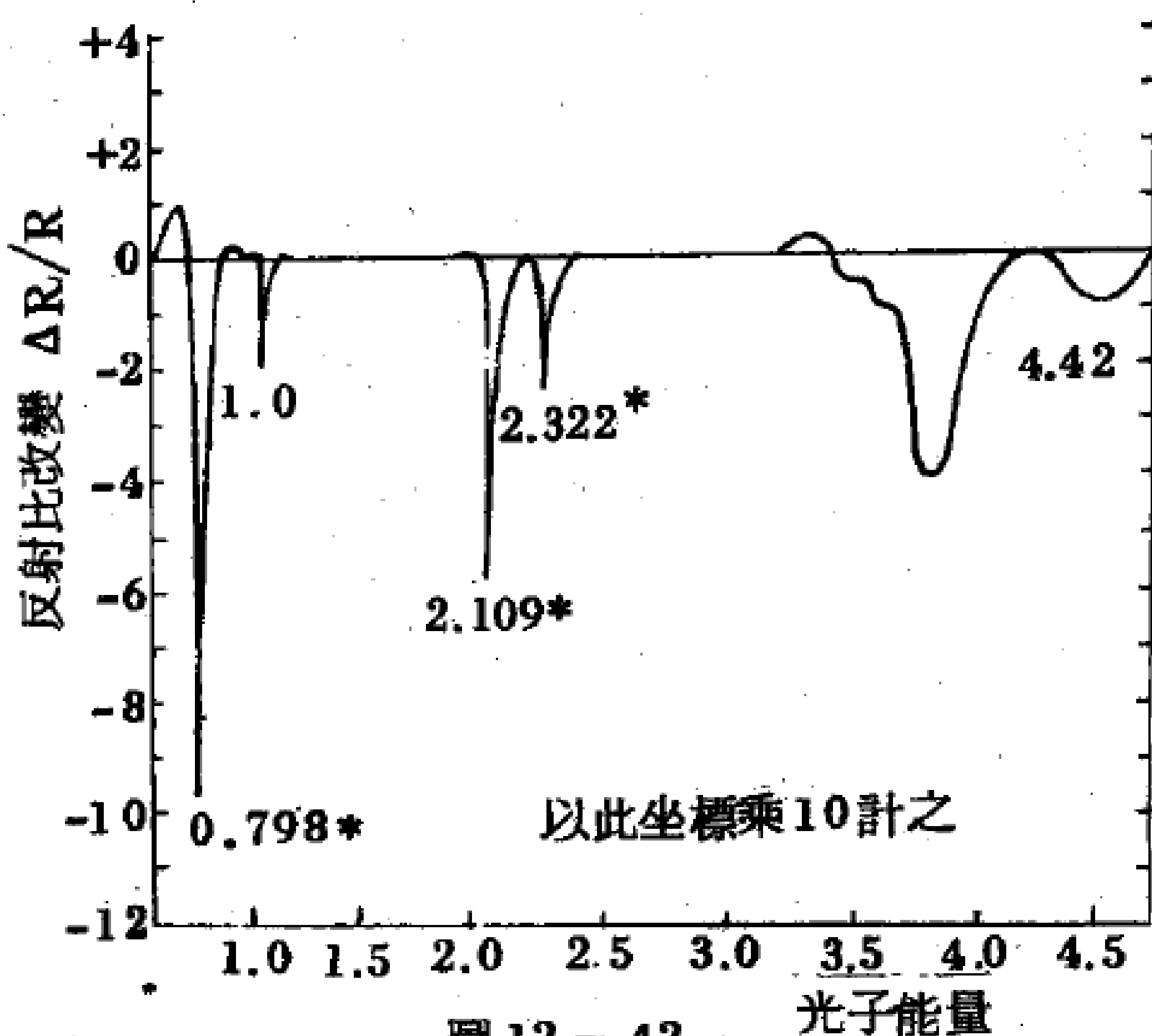


圖 12—42

R值。原則上，外加電場影響表面電位，進而影響該半導體的吸收機構。半導體表面位壘無論在那一方向增高，反射性均降低，亦即吸收性增強。吸收性較大之處表示半導體的能階間具有該一能差，從而量得半導體的能階分佈（亦即能帶結構）。圖中便是增高位壘的結果（以整流器取交流電的正半波部分），R係不加電場時的反射性，$\Delta R=R'-R$，R'係加上交流電場以後的反射性。除甚小部分外，$\Delta R/R$ 均不大於零。在不加電場時，可以測知若干吸收限（表光線被吸收時，其R有一激烈變化）。如在鍺的光譜中，稍高於0.798 eV便是一基限（具該能量的光子被大量吸收，即R呈現一明顯的極小）。當加入交流電場後，可以清楚觀測到新的吸收限（圖中帶星號之處要將刻度放大10倍），亦即更詳細的能帶結構可由此實驗獲得。

【富蘭克林】（**Benjamin Franklin** 1706—1790）

1706年生於美國波士頓（*Boston*）。1729年，管理賓夕法尼亞時報，頗著成效。1752年他那最著名的風箏實驗，證明了空中的閃電和電流是一樣東西，發明避雷針，首創正、負電的說法，牛津、愛丁堡及聖安得魯（*St. Andrew*）各大學都贈與法學博士的學位。此外又發明了一種非常好的富蘭克林火爐，就在現在還是一樣的受人歡迎。以後就完全投身到政治舞臺上去了。他一生成就輝煌，既是文學家、科學家又是傑出的政治家。

【尋常光線】（**Ordinary ray**）

光波穿過晶體時，若所用之媒質爲各向異性（*anisotropic*）者，例如方解石，則折射光線常有兩個，分別向兩個不同之方向進行。在此兩折射光線之中，其一遵循尋常之折射定律，故名爲尋常光線。

參閱"雙折射現象（*Double refraction phenomena*）"條。

【幅度】（**Amplitude**）

某一振動量的最大偏移度，像擺動著的擺對其平衡位置的最大偏移

，交流電路中，電流強度的最大值等。嚴格地說，幅度這個名詞是只對正弦振盪而言的，不過通常也用它來表示任何振動中的最大偏移度。

【幅度失眞】(Amplitude distortion)

振盪波形的失眞，即有著一定的比例關係的不同振盪幅度經過某種裝置時，這個比例關係被此裝置破壞了。

例如，如果低頻放大器對於小幅度的放大大於對大幅度的放大時，就會發生幅度失眞，幅度失眞是非線性失眞中的一種情形。

【幅度特性曲線】(Amplitude characteristic)

表示某儀器輸出端的幅度與該儀器輸入端幅度的關係曲線。例如低頻放大器的幅度特性曲線表示放大器輸出電壓的幅度與其輸入電壓幅度的關係，揚聲器的幅度特性曲線表示揚聲器所產生的聲振盪的幅度與揚聲器上所加電壓幅度的關係等等。欲使儀器將全部輸入振盪進行重發而無波形的失眞，儀器輸出端的幅度應與輸入幅度成正比，即是說幅度特性曲線應該是一條直線。

【幅度選擇】(Amplitude selection)

將幅度不同的信號進行分離。幅度選擇通常是這樣實現的，即幅度低於一定界限的信號都被截除，只有幅度高於這一界限的信號才被分離出來。例如，幅度選擇可以用在電視中以分離同步信號。

【幅變】(Amplitude variation)

指電波的幅度有衰落現象。

【幾何光學】(Geometrical optics)

由幾何觀點，說明折射與反射現象，以射線的觀念爲工具，描述波在不連續面所發生的過程，並假定諸過程僅係反射與折射，而在波面方面無其他變更發生。由這角度看問題即是所稱的波動幾何 (*wave geometry*) 或射線追蹤 (*ray tracing*)，特別是在可見與近於可見的

電磁波區域內，它將構成幾何光學，爲應用物理學的重要一支。

波動的傳播速率隨介質的不同而改變。而當波動經過兩不同介質的交界面時，即發生反射與透射（或折射）的現象。電磁波雖有其特殊的性質，但其反射與透射的現象，則和其他的物質波很類似。尤其是光的反射與折射現象，更是早已爲人類所覺察並多方面利用的。

一電磁波經繞射後所成的繞射強度圖樣，主要是集中在一角寬度約爲$\frac{\lambda}{D}$的範圍內，其中λ代表電磁波的波長，D代表繞射儀器的尺度（例如裂縫的寬度）。在$\frac{\lambda}{D}$趨近於0，即波長比儀器的尺度小很多的極限之下，角寬度趨近於0。平行入射波束，仍以原來的方向平行射出。電磁波的傳播趨近於直線進行，這在光的電磁波譜內，就日常生活的尺度來講是恰巧符合的。因此在這個極限之下，可以有較簡單的近似法來處理電磁波，即是只注重其射線性質，而完全忽略其波動性質。尤其是光波經過各介質時的情形。因爲可見光在各均勻的介質中爲直線進行，其傳遞情形即可用幾何學的作圖法來推定。

【幾何結構因數】（Geometrical structure factor）

X光繞射的反射振幅，是晶體中所有原子繞射波振幅的總和，由於晶體的週期排列，可以導得振幅$= A \times S$，式中A和晶體各單元（晶胞）的細部構造無關，它只是波長、反射角、層間距離的因數。S與構造有關，稱做幾何結構因數，牽涉到每一晶胞內各組成原子所在的位置，和其原子構造因數（*atomic factor*）。可以下式表示S：

$$S = \Sigma_j f_j \, exp \left[-i\, 2\pi \left(\frac{hx_j}{a} + \frac{ky_j}{b} + \frac{lz_j}{c} \right) \right]$$

式中j代表晶格內各個原子，h，k，l是反射面指標，而第j個原子在晶格內的位置爲$\frac{x_j}{a}\vec{a} + \frac{y_j}{b}\vec{b} + \frac{z_j}{c}\vec{c}$，$f_j$是第$j$個原子的原子構造因數。

【復冰】(Regelation)

對冰加以壓力，則其熔點降低，結果冰暫時變成水，而將壓力除去，則立即恢復成冰，這種現象稱爲復冰現象。用力使兩塊冰相接觸卽融成一塊，就是這種現象。關於這現象有許多種實驗，較常見者如下：

1. 毛森 (*Mousson*) 實驗——將冰放進一圓筒中(圖12—43)，冰上置有一球，當其用螺旋旋緊使冰受到大的壓力時，冰卽熔解，球則落於筒底。但當其放鬆螺旋時，水又凍結成冰。

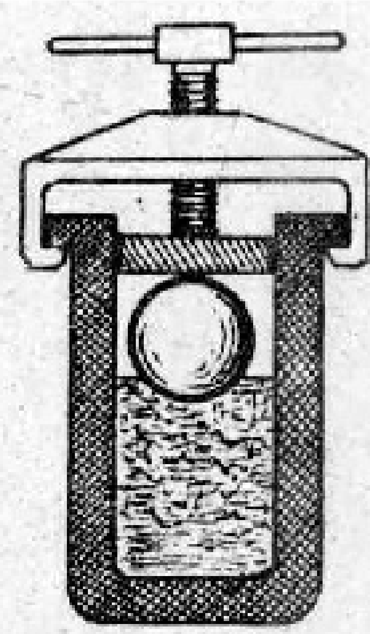


圖12—43
毛森復冰實驗

2. 鮑特姆萊(*Bottomley*)實驗——將一塊長冰放置在兩個支架上，再在冰之中央套上一金屬線，線之下端繫一重體(圖12—44)。重體之全部重量僅能作用在金屬線所貼置的狹窄冰面上，這也就是說，冰之受壓面積極小；但如所周知，所謂壓力乃指作用於單位面積上之力(譬如是仟克重/平方厘米)而言，因此在上述情形下，就會產生一種很大的壓力。在此壓力作用之下，因爲冰之現有溫度0°C業已超過其應有之熔點，所以0°C 之冰必定會開始熔解。又因冰在熔解時需要吸收附近的熱量之故，所以熔解之水遂被冷卻到0°C以下，而形成所謂過度冷卻的現象。這一部分的水一旦越離金屬線套圈，從壓力下解脫出來時，則又重行凍結爲冰；結冰時所放出之熔解熱可使溫度又升高到0°C。金屬線套圈卽以此種方式穿經冰塊之中，並能在一段時間以後穿過整個冰塊，但這被切成兩塊的冰，會在切開之處重新凍結得很堅固而不至於斷裂。

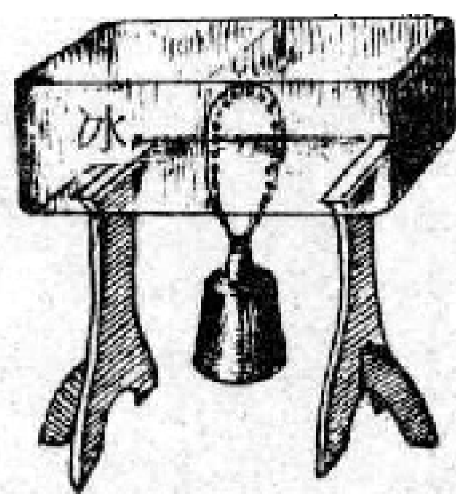


圖12—44
鮑特姆萊復冰實驗

3. 設將兩塊表面略帶潮濕的0°C之冰壓緊在一起時，則所加之壓力便會在互相接觸的表面上引起熔解。熔解的水是過度冷卻的，所以當它一旦避開超壓而進入標準大氣壓力之下時，則又重新凍結，使那兩塊

冰結合在一起。

在所有和復冰有關的現象中，尚有一點需加解釋的，那就是復冰並非僅視所施之力而定，而是和作用於單位面積上之力，亦即和壓力有關。所以在某一定大小之力之作用下，其作用之面積愈小，則復冰作用愈能引人注目。

4. 復冰作用可用以說明冰的外顯性的可塑性能。利用壓擠的方法，很容易將硬幣、石頭等印記在冰上。冰在足夠的壓力之下更能被壓成任意的形態。除此以外，復冰作用亦能說明另一現象，那就是 0°C 之雪可用手壓捏成堅固之冰塊；但如所周知，這是用溫度較低之雪不能達成的。例如 −1°C 之雪，倘欲使其熔解，那就非得施予 $1/0.0075=134$ 大氣壓不可。又在下列情形下亦能發生同一現象，譬如在步行者踐踏之下，或是在雪橇、車輛之壓力下，雪就漸漸地變成連在一起的冰面。又如在高山上，下層的雪受到上層雪的壓力作用便會變成冰川。當冰川最下層的冰受到上部的壓力變爲液體時，便會發生所謂冰川之滑動。最後，滑冰鞋所以能在冰上滑行的原因亦不難了解，蓋滑冰者的體重是全部加在冰刀上，這一條狹窄的冰乃在高壓力之下熔解，於是在冰和刀之間所形成之水膜就像潤滑劑一般地引起一種減低摩擦的作用。

【復合】(Recombination)

凡自由電子進入半導體的空穴中，空穴卽爲電子所填充，此現象就是電子與空穴的結合。

在離子體內或在其表面附近，帶電粒子失去所帶電荷的現象，分爲下列幾種情形：

1. 輻射復合 (*radiative recombination*) —— 當電子靠近離子時，而被離子捕獲，電子進入其環繞離子的束縛能階軌道並將多餘之能量放出。很多這種輻射呈現在光譜上的可見及紫外線區域，可用光譜儀測出。

2.解離復合（*dissociation recombination*）——電子被帶正電的分子離子所捕獲，這種分子離子是穩定的粒子，或僅是原子離子接近中性粒子所形成的過渡的離子。電子與離子復合後再解離爲兩個中性原子，復合能量則成爲二原子的動能。

3.離子、離子復合（*ion-ion recombination*）——在此過程中，最初電子附著在中性原子上而成負離子，然後正離子與帶負離子復合成原子，復合能量仍爲二原子的動能。

【復合輻射】（Recombination radiation）

離子與電子結合形成中性原子或分子時，伴隨其復合過程所放出的輻射。因增加原子間距離而激發的分子，回復至其基態時亦有輻射產生，但此輻射形成連續譜且不常出現。

【循環】（Cycle）

一熱力系統，自某一巨觀狀態，經某些有一定順序的變化後，又恢復到原先的狀態，如此週而復始的變化，稱爲循環。循環過程即爲在過程的終點，系統回至起始狀態，因此在 $P-V$ 圖中，一循環可以一封閉曲線表之，一循環過程之一重要例子爲一熱機的運行。

假設在一循環中，系統沿著過程(1)從 A 走到 B（圖 12－45），而沿過程(2)由 B 返回到 A。在從 A 走到 B 時，其所作之功等於曲線(1)下之面積，在從 B 返回 A 時，其所作之功等於曲線(2)下之負面積乃因功施於系統。在此循環中，系統所作之淨功則爲表示此循環之曲線所包圍之內陰影面積；此即

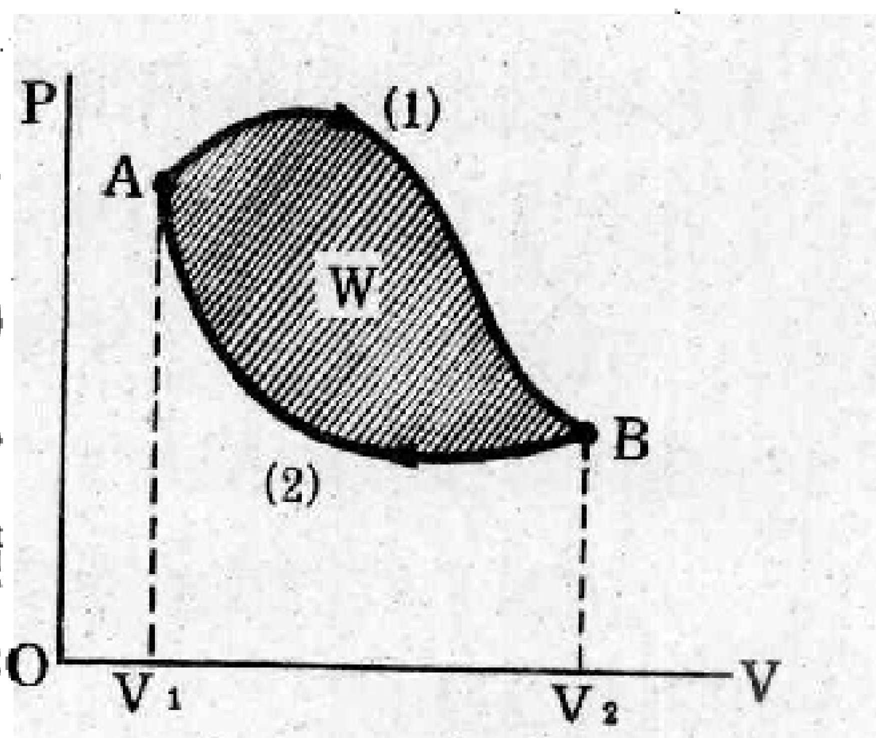


圖 12－45

循環系統行一順時針循環時所作之功等於 P-V 圖中循環所包圍之面積

$$W_{循環} = \oint p dV = (1)下之面積 - (2)下之面積$$
$$= A(1)B(2)A 內之面積$$

因此一熱機每循環所作之功可以計算出，只要知道循環之 $P-V$ 圖就行

。並且，若知道熱機每單位時間完成多少循環，則可得熱機之功率。

【惠司同電橋】(Wheatstone bridge)

於電路中某二點間若無電流通過，則此二端點之電位差必等於零，根據此原理而設計出一組電路，如圖 12—46，可精確測定電阻。此法於 1843 年首爲英人惠司同 (*Charles Wheatstone*) 所創，因之得名。惠司同電橋中三已知電阻與電表等均裝入方箱中，僅留外接欲測電阻之接頭，其原理如下述：

先令 $I_G = 0$，則 $V_C = V_D$

故 $V_{AC} = V_{AD}$ $\quad V_{CB} = V_{DB}$

及 $I_1 = I_3$ $\quad I_2 = I_4$

所以

$$I_1 R_X = I_2 R_1$$

$$I_1 R_3 = I_2 R_2$$

即 $\dfrac{R_X}{R_1} = \dfrac{I_2}{I_1}$ $\quad \dfrac{R_3}{R_2} = \dfrac{I_2}{I_1}$

故 $\dfrac{R_X}{R_1} = \dfrac{R_3}{R_2}$ 則 $R_X = R_1 \times \dfrac{R_3}{R_2}$

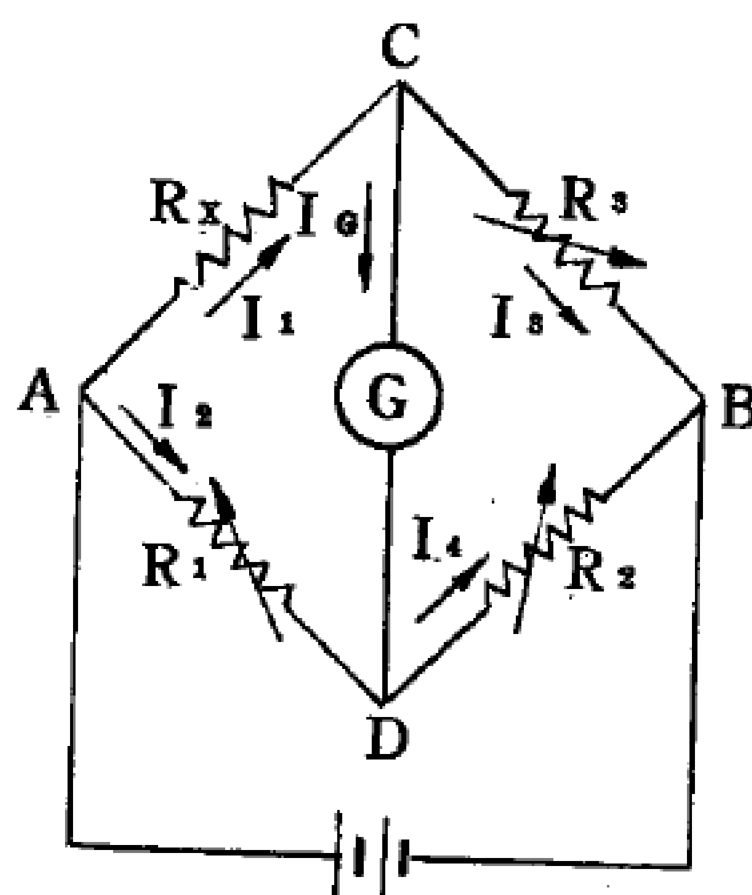


圖 12 — 46

【惠更斯】(Christian Huygens 1629—1695)

荷蘭物理學家、數學家及天文學家，在來登 (*Leiden*) 習法律和數學。發現光偏振現象，且研究發展光的波動學說。創“以太”一字，代表光波能在其中行進的介質。在 1655 年發展磨製望遠鏡透鏡的改進方法，建造第一具大型望遠鏡，使他發現土星環及其衞星。惠更斯最先用擺以校對時鐘，又發明測微計 (*micrometer*)，是用以測定極短長度的儀器。1663 年惠更斯爲英國皇家學會會員；自 1666 至 1681 年，應法王路易十四之邀，在巴黎從事研究工作。

【惠更斯目鏡】(Huygens' eyepiece)

此形式之目鏡可做多種視覺工具，例如用於觀察的工作，主要因爲

在物像最外部分沒有顏色的外緣，換言之，此目鏡較其他形式更不受放大率的色差的影響。目鏡由兩片平凸透鏡組成，場透鏡之焦距約爲目鏡焦距之2倍，其間隔等於後者焦距之1.5倍。

此目鏡之一種模型可用+6*D*及+12*D*兩片透鏡安置在光學試驗臺的握柄中，二者相隔距離爲12.5 *cm*（見圖12—47），在+12*D*之焦點處（即距其8.3 *cm*處），安置直徑$\frac{5}{8}$吋通孔之光闌。望遠鏡物鏡應置於光學試驗臺上，且調節之使其焦平面在光闌的平面上。在此方式中，可觀察某遠處受測物標之呈現，且比較此望遠鏡所得結果與僅用一目鏡之望遠鏡所得之結果。此場透鏡（即此+6*D*透鏡）之效果可清晰看出，將注意及出口瞳孔移至與目鏡密接則易於眼睛的定位，而在同時其大小亦有變化。

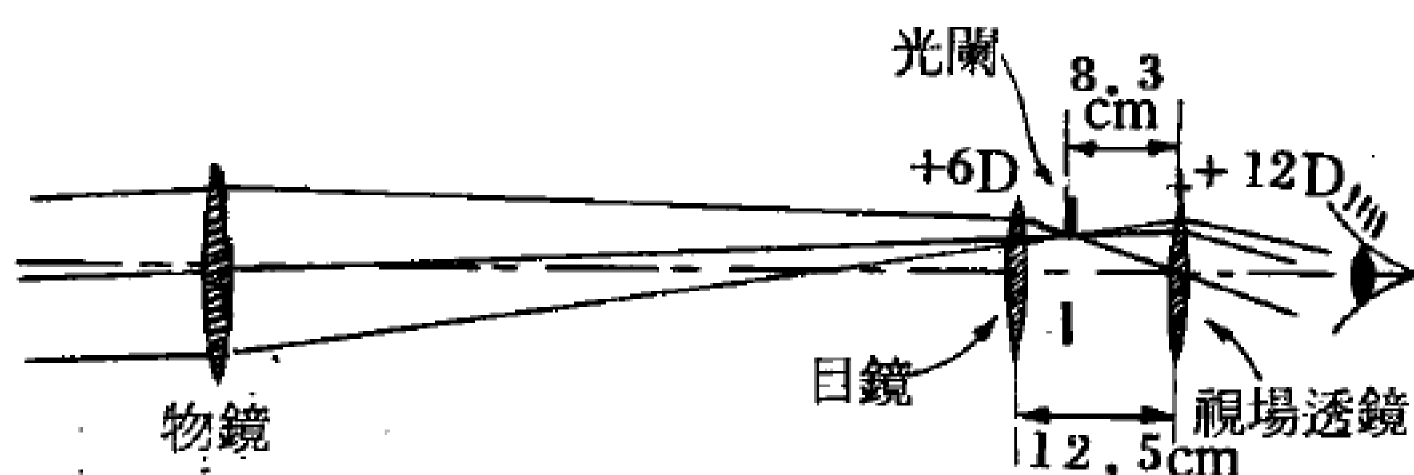


圖12—47　惠更斯目鏡模型

【惠更斯光源】（Huygens' light source）

惠更斯光源即有效振盪電荷。利用惠更斯作圖法（*Huygens' construction*）推求裂縫的繞射強度圖樣，可以想像裂縫中佈滿著無數的小惠更斯光源，它們把入射的電磁波完全吸收，然後再以適當的相位和振幅向屏後發出新的輻射，但不向屏前方發射。因此，裂縫的繞射作用可說是這些小惠更斯光源之輻射，干涉的結果。亦即裂縫的繞射作用，相當於密集的天線系列，或有無限多刻痕的光柵（*grating*）（$d \ll \lambda$）的繞射作用。

【惠更斯原理】（Huygens' principle）

一波面（*wave surface*）或一波前（*wave front*）係波動中通過介質之一切點於同一時刻所抵達之面，所以，在波面上一切點之擾動均應同相。例如，對於一平面波，其騷動是以$f(\vec{u}\cdot\vec{r}-vt)$表

示之，一波面係由在一指定時刻，具有同一相值（$\vec{u} \cdot \vec{r} - vt$）之一切點所組成。因此，波面是以方程式

$$\vec{u} \cdot \vec{r} - vt = 常數$$

表示之，於一指定時刻 t，上式相當於垂直單位向量 $\vec{u}$ 之一平面。同理，對於一球面波，波面方程式表爲

$$r - vt = 常數$$

於一指定時刻 t，此式相當於以波源爲中心之球面。

爲了從一波面通至另一波面，惠更斯設想一方法，考慮一波面 S（圖 12—48），當波動抵達此面時，在面上各質點 a、b、c、……成爲次級波源，射出第二次波（*secondary wave*）（以小半圓表示之），此諸第二次波抵達介質中之次層質點上，這些質點因是開始運動，形成與所有第二次波相切的次一波面 S'。這過程自行不斷反覆，終致形成一通過介質之波的傳播。當波是由物體中原子或分子之振動所產生的彈性波時，此一波傳播之圖解，看來甚爲合理，這便是惠更斯原理。

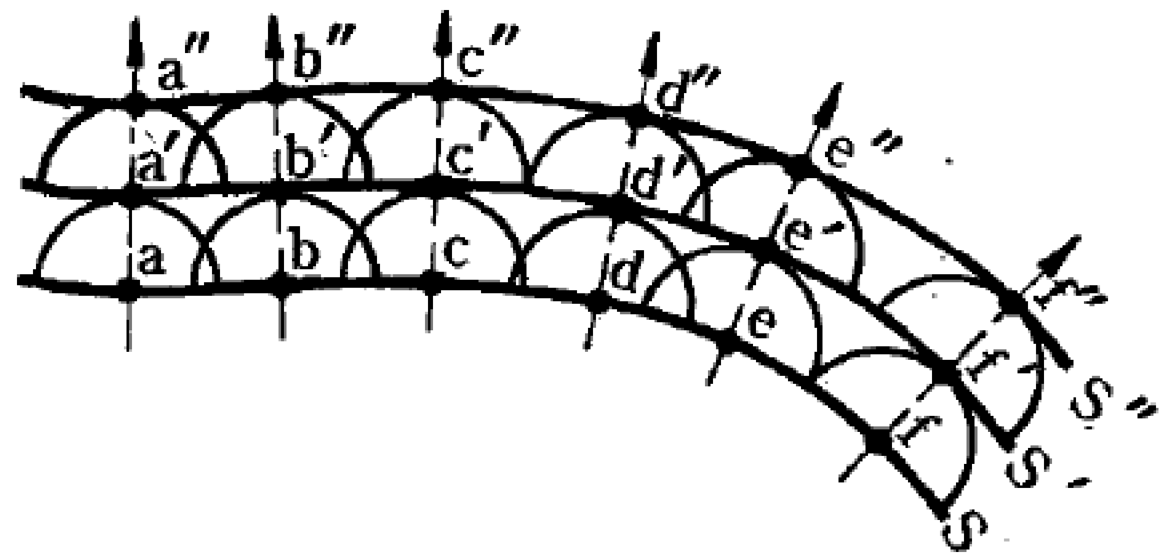


圖12—48　進行波之惠更斯作圖法

【惰性】（Inertia）

又稱惰力（*inertial force*）或慣性。任何物體均有“靜止時保持靜止狀態，及在直線上運動時繼續以等速運動之傾向”者，是爲慣性，故慣性實有不願改變之意義。卽物體運動或靜止時，亦具有抵抗改變其原狀態之性質。

詳閱“慣性（*Inertia*）”條。

【惰性空間】（Inertial space）

任一空間中對其中某一動的物體有一固定坐標。

【惰性氣體】(Inert gas ; Noble gas)

不易起化學反應的氣體，如氖、氬及氦等，充氣電管常採用之。

【惰輪】(Idle wheel)

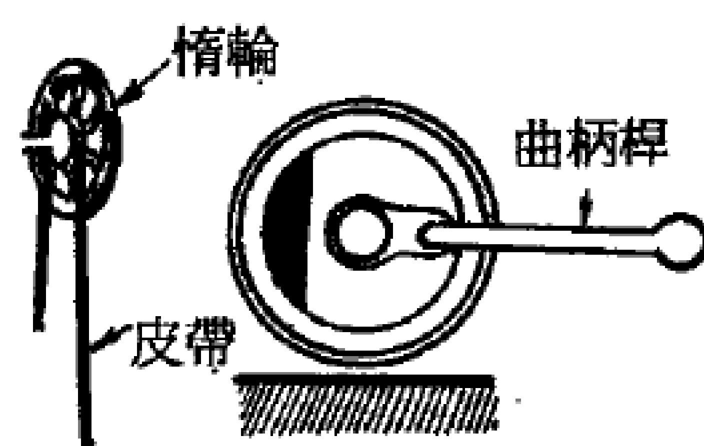


圖 12 — 49　惰輪

也叫飛輪(*fly wheel*)。要消除旋轉速度發生不均的裝置。當曲柄作往復運動時，曲柄的延長線經過旋轉柄的一剎那，曲柄將無旋轉力作用。對曲柄的這樣一個位置叫死點(*dead point*)，雖加力於曲柄，曲柄並不能旋轉。因此，爲了曲柄在此一位置時，要能連續旋轉，使旋轉運動順利，便要用惰輪。惰輪的直徑愈大、愈重，旋轉的慣性愈大，旋轉的速度也愈均勻。在火車頭車輪便用惰輪。

【揚聲器】(Loud speaker)

揚聲器和微音器工作性能恰巧相反。揚聲器是將電能變回爲聲能的一種最重要的器具，揚聲器的外形千變萬化，其中形狀有大至十幾吋，小至吋許的；重自數十磅，輕至一磅以內的；種類繁多。依其所響應的頻率範圍而分，有低音用的低頻揚聲器(*woofer*) (200 *Hz*～2,000*Hz*)，中音用的中頻揚聲器(*squawker*)(500 *Hz* ～5,000 *Hz*)，及高音用的高頻揚聲器(*tweeter*) (2,000 *Hz* ～20,000 *Hz*)。現在高傳眞度的 *hi-fi* 揚聲器則多爲複合型，在一揚聲器內同時裝置有低音線圈及高音線圈或中音線圈。而在半導體的發展趨勢下，小型揚聲器(*book shelf*)更是大行其道。依其輻射音波的方式而分，有直接輻射型及間接輻射型二種。直接輻射型就是由電能的變動所引起的揚聲器中的膜片振動，直接傳播於空氣中而爲聲能。間接輻射型是揚聲器的膜片振動先在預先設計的喇叭中，經過喇叭再傳出音響，或是經過助聲板或木箱的幫助，使它發揮傳送音波的效果。揚聲器的構造通常分爲二部分，其中把低週電流的變化轉變爲機械振動的部分稱爲推動器(*dri-*

ving unit）；和推動器相連的膜片、喇叭及其他傳聲裝置，稱爲聲音輻射器（*sound radiator*）。揚聲器作用是利用加到揚聲器的電壓與電流引起機械力量的出現，這種力使得揚聲器的活動系統發生振動。這種振動就在周圍的空氣裏產生了聲波。由於機械振動的激勵方式不同，揚聲器可以分爲電磁式揚聲器、電動式揚聲器、壓電式揚聲器、靜電式揚聲器等數種類型。

使用喇叭的揚聲器，通常在膜片傳聲時都有發音頭，如圖 12—50所示。膜片上面的三角形，實際上是一圓錐體。它的作用是在防止音波從膜片到喇叭口時產生擾動，以致失眞。膜片的振動因爲發音頭的構造，夾著其邊緣，使其整體移動以減除機械共振。

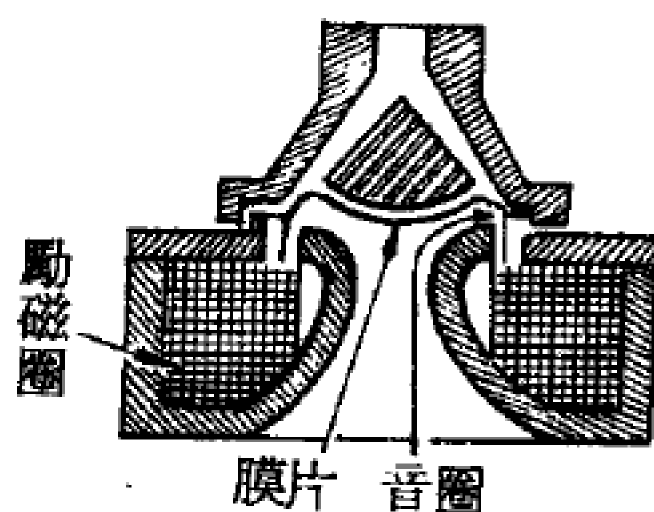


圖 12 — 50
揚聲器的發音頭

揚聲器通常都是用於收音機及放大器上，其所要求的特性有下列幾點：

1. 傳眞度（*fidelity*）——傳眞度就是將電流的變化眞實地轉變爲聲能，故傳眞度也可稱爲眞實度。但有些揚聲器對於高音響應較好，有些對於低音響應較好。現在進步的揚聲器對高頻及低頻的響應範圍擴大，以儘量達成此一目的。

2. 負載量（*capacity*）——揚聲器必須在規定的最大負載下繼續使用，不因爲過荷（*over load*）而發生失眞。在戲院或大會場裏所用的揚聲器，其負載量常數十倍或數百倍於放大器的輸出，以避免有過荷的情形發生。

3. 效率（*efficiency*）——就是揚聲器的輸出功率與輸入功率的比，例如一揚聲器的輸入爲 10 瓦特，輸出爲 1 瓦特，即其效率爲 10 ％ 。揚聲器的輸入與輸出的差額，是揚聲器的損失，例如 10 瓦特的輸入，而僅有 1 瓦特的輸出，則其損失爲 9 瓦特。這些損失大部分可以解釋爲在揚聲器中變成熱能的損耗。

4. 方向性（*directivity*）——方向性就是將聲能集中指向某一方向的能力。在收音機上並不重要，但用於大會場或戲院裏，連接於放大器上的揚聲器就有這項要求，尤其是在高傳眞度及立體聲的設計上，多個揚聲器的聯合運用，極需要妥愼利用揚聲器的方向性。

【揚聲器音圈】（Loudspeaker voice coil）

即揚聲器之動圈，聲頻電流通過此線圈後，得徊聲音的振動。

【描畫】（Trace）

指示波器的電子射線由左描至右的運動。

【插入式線圈】（Plug-in coil）

具備插腳與底座相連的線圈，此種線圈變換較易。

【插口】（Jack）

插入式的接端。

【插子及插座】（Jack plug）

開關之一。

【插板】（Jack panel）

插口板。

【插頭變阻器】（Receptacle rheostat）

圖12—51即爲一插頭變阻器或稱電阻箱，圖中又表示出一組電阻組，利用這種電阻組可以連成1～10歐姆間的各種電阻。電阻組的作用相當於天平的砝碼，由一個1克、兩個2克及一個5克的砝碼，便可以稱出1～10克間的各種重量。圖12—51中所示的電阻恰爲7歐姆。因爲電流不必經由計値爲1 Ω之電阻1，而直接由插頭*A*所連通的便道流過，又不必經由計値爲2 Ω的電阻3，而由插頭*B*流過，是即所謂短路，

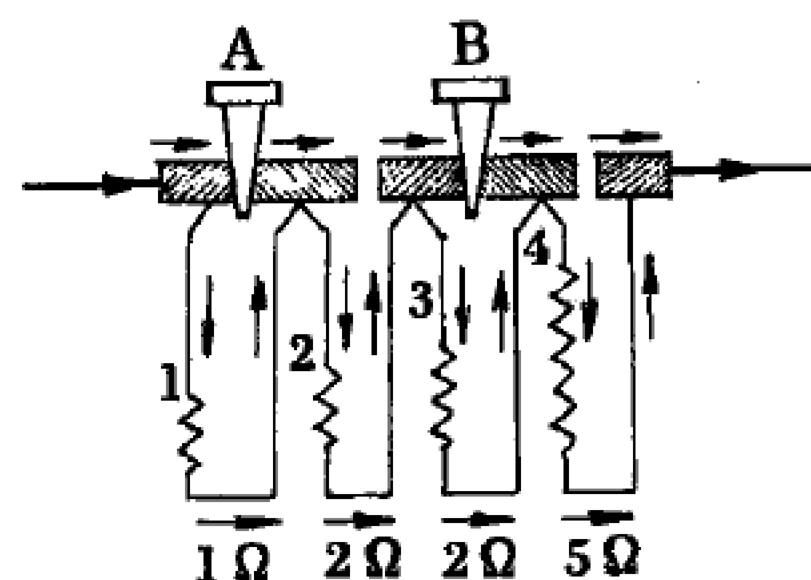


圖12—51
插頭變阻器(電阻箱)，含有1至10 Ω不同之電阻。圖示電阻爲7 Ω。

故其所經過的電阻計爲 2 Ω的電阻 2 和 5 Ω的電阻 4，即其所流經的總電阻爲 7 Ω。插頭*A*和*B*爲金屬製的導電塞子。

【插塞】(Plug)

這是用以接通電路的金屬軸。將插塞插入塞孔套管時，在塞孔與套管之間便發生了電接觸。插塞常常是由數個相互絕緣的部分組成，這些部分保證著與塞孔各單獨部分的接觸。

【插塞連座】(Plug and socket)

插塞頭與插塞座。

【換日線】(International date line)

地球上用來定做變更日子的界線，亦即指東經 180°（或西經180°）的經線而言。

由東經 180° 逐漸向西前行，太陽的正午時刻隨著漸漸慢，到經度 0° 會慢 12 小時，到西經 180° 剛好 24 小時，換句話說正好慢一天。

因此，越過東經 180°（西經 180°）時，就要撥慢或快一日。所以，由西向東（如由我國向美國去）而越過此線，日期要撥慢一天；自東向西而越過此線，就要撥快一天。

【換向】(Commutation)

直流發電機中，藉整流子將兩個方向的交變電壓變爲單一方向的現象。

【換向器】(Commutator)

以電樞置於強磁鐵之兩極間，廻轉之則其線圈內生電流，每半廻轉，其內所生之電流方向相反，欲使此電流常取同方向流於導線上，可固定兩個半圓形導體*BB'*於電樞之軸上，如圖 12—52，令互相絕緣，而以金屬彈條*CC'*與之相接觸，復將彈條連於外部之導線，廻轉電樞，則*BB'*亦廻轉，接觸於*BB'*之彈條*CC'*，當電流

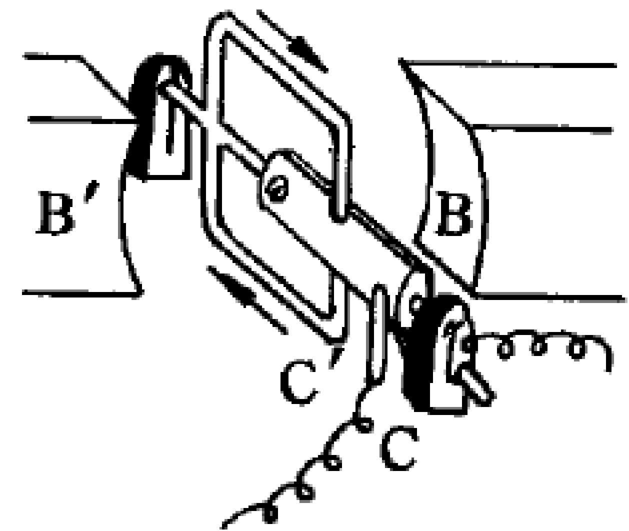


圖 12 — 52

方向變換時，亦相更代，故流於 BB' 之導線上電流，方向恆一定不易，如電樞內之電流，取箭頭所示之方向時，C 與 B 接，C' 與 B' 接，及電樞半廻轉後，電流之方向相反時，C 與 B' 接，C' 與 B 接，故流於外部導線中之電流方向恆一定，此種裝置謂之換向器。

【換相機】(Phase converter)

推挽級與推動級採用變壓器耦合最方便，因爲只要變壓器次級是有中間分接的，則推挽級極易取得相等而相反的信號輸入，如嫌變壓器耦合失眞過大，爲著減少失眞欲採用電阻電容耦合，則必須使用變相器，變相器輸出的兩信號電壓相位相反而相等，因爲屬電阻電容耦合，失眞度大減。

【換流器】(Inverter)

通常任何將直流變交流的電機或電子設備都稱爲換流器。如直流電動機與交流發電機連接在一起，而使直流電能變爲交流電能；以及振動器式的交流電源等，都可將直流變爲交流。現在高功率的換流器仍然用直流電動機連接交流發電機的方式。但由於近年來所出現的電晶體及其他半導體另件，可直接在直流低電壓下作用，所以可以設計出完全無運轉機件的電子換流器 (*electronic inverter*)，通稱爲靜態換流器 (*static inverter*)。

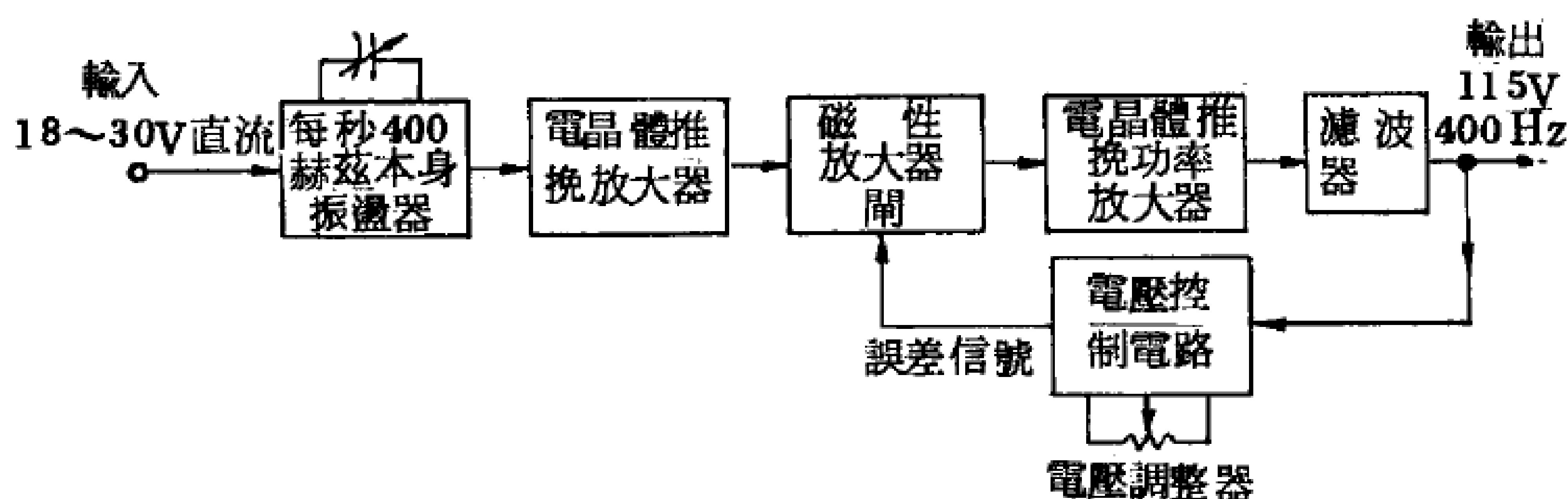


圖 12—53　靜態換流器

圖 12—53 是靜態換流器方塊圖。這個特殊的換流器，可將 24 伏特標準直流主電源，變爲頻率爲400赫茲，電壓爲 115伏特的交流，供所

能供給的功率爲80瓦特。此換流器的總重量約爲9磅。

將直流變爲400赫兹的交流，是由第一級的電晶體振盪器所達成。第二級的電晶體推挽式放大器將第一級的交流輸出放大，以推動次級的磁性放大器（*magnetic amplifier*）。磁性放大器也就是一個感應器，只要改變其控制線圈（*control winding*）就能改變鐵芯的磁性飽和，所以可以改變磁性放大器的電感及輸出。在此用磁性放大器的目的有二：其一，磁性放大器可將電晶體放大器所輸出400赫兹的方波加以放大。更重要的是它能藉電壓控制電路所反饋的信號，以調整換流器的輸出電壓。電壓控制電路是由一個季納二極體（*Zener diode*）所構成，季納二極體將換流器的輸出電壓，與其本身的季納參考電壓作一比較求得一個誤差信號（*error signal*）供給磁性放大器，以調整磁性放大器之放大倍數，因此可使換流器得到穩定的輸出電壓。並且亦可利用人工直接調節電位計（*potentiometer*），以控制換流器的輸出。

最後一級的電晶體推挽功率放大器，由磁性放大器推動，此級的作用也受磁性放大器閘波電路的控制，所以可得到適當的輸出電壓。最後利用通帶濾波器（*band pass filter*），得到所需頻率爲400赫兹的輸出電壓。

【換能器】（Transducer）

將能的形式改變的工具，如傳聲器可將聲能變爲電能，揚聲器將電能轉爲聲能，兩者都可稱做換能器。

【換頻器】（Frequency changer）

一種電子裝置，能調整輸出頻率，使其不同於輸入頻率者。

【揑縮系的不穩定性】（Unstability of pinch system）

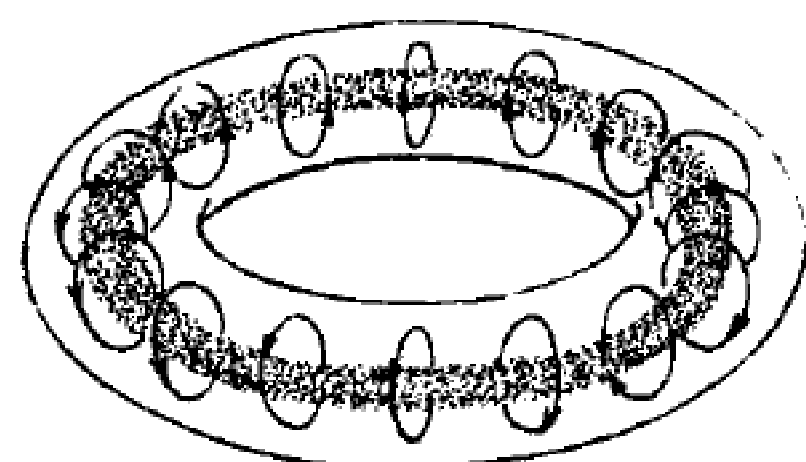
詳閱“揑縮效應（*Pinch effect*）”條。

【揑縮效應】（Pinch effect）

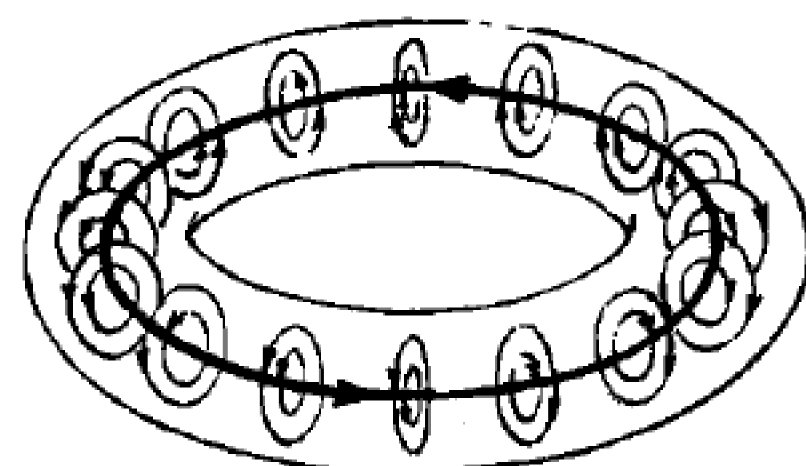
在受制熔合實驗裏，當電流流經電漿柱時，能產生磁場以圍控並壓

縮和加熱電漿的效應。捏縮系統的實驗於 1950 年在美國、英國和蘇俄同時開始。因爲電漿的不穩，捏縮裝置不能單獨用來局限電漿。不過捏縮的研究工作已經提供了有關電漿穩度的知識；而且當其被應用到其他的磁場局限裝置時，捏縮效應有其特別用處。

假設在一座含有氣體的環形容器內有一股由外界感應的強電流，如圖 12—54 所示。此電流產生一磁場，其磁力線圍繞著攜此電流的電漿。磁場的壓力把電漿壓縮（或捏縮），因此電流在環形管中心附近的狹窄的環上流動。電漿不但可在這種方式之下不與容器壁接觸，而且電漿可用電流本身和電流所產生的磁場壓力將其加熱。



(a) 開始放電的情形



(b) 係完全捏縮的情形。黑環爲電漿，內有感應電流；環繞著黑環的圓圈爲電流所感應的磁場

圖 12—54 圓形管中捏縮效應

欲製造和局限在氘或在氘－氚混合物中，能引起核熔合反應所需要的具有高溫度和高密度的電漿，捏縮效應似乎是一種簡單而又有希望的方法。然而受捏縮的電漿非常不穩，同時支持的時間不會超過百萬分之幾秒。縱然溫度已經足夠高，但是這個時間仍是太短，以致不能產生熔合能。

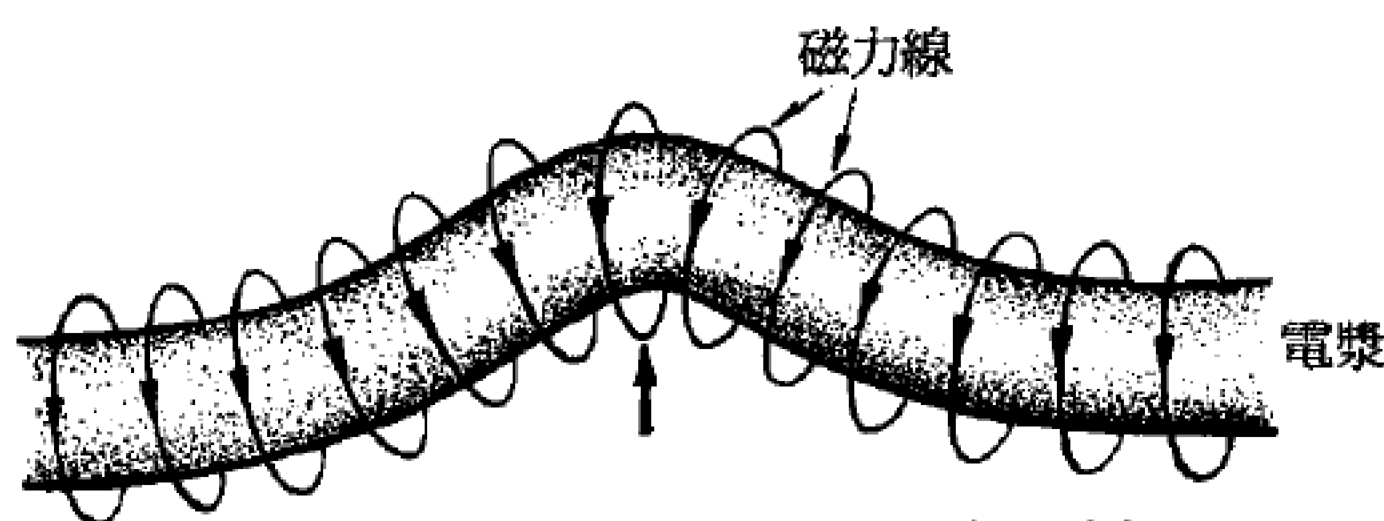


圖 12—55 捏縮電漿中之紐結不穩定

在受捏縮的電漿中所能發生的許多磁氫不穩現象中，有兩種是常見的。如圖 12—55 所示，在電漿中的小彎曲（或紐結）的出現是可想像的。於圖中可以看到，在紐結處內側（底部）的磁力線比在紐結處外面（頂部）的磁力線較密接，所以在紐結處內側的磁場強度較大，因此產

生了一個磁場強度的差異，而使紐結比以前更膨脹。這種情形一直繼續進行到受揑縮電漿扭曲的程度與容器壁接觸或完全瓦解爲止。

第二種形式的磁氫不穩，如圖 12—56 所示，爲在電漿中形成一個小的被縮緊的部分，在此部分的磁場比在他處的磁場爲強，使該部分的電漿受到比以前更強的壓縮。因此，在短時間內，在這部分的電漿是如此的狹窄以致於裂開。

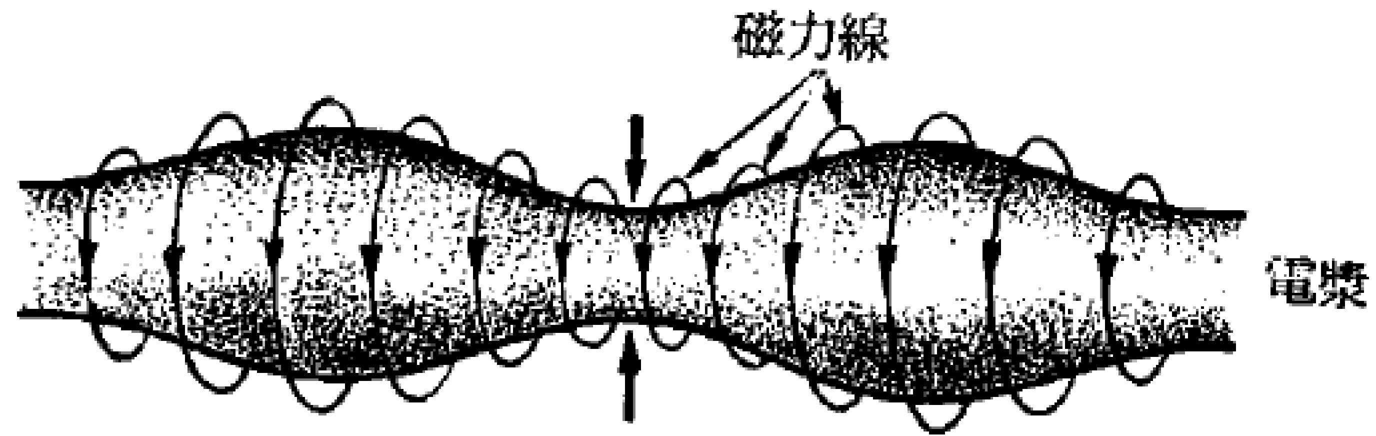


圖 12－56　揑縮電漿中之緊縮不穩定

理論上的研究指出，也許可以用一個軸向磁場（此即磁力線與電漿軸平行的磁場）使受揑縮的電漿穩定。假定磁力線相當於一種硬物，當電流經過容器外的線圈，則產生一個弱的軸向磁場。這種步驟雖然增加揑縮的穩度，但還是有一些障礙。例如，在電漿中作穩定的軸向磁場會反抗揑縮作用，因此它會限制壓縮和局限。

電漿中尙有其他的不穩，而且這些不穩不受軸向磁場的影響。這些不穩必須徹底了解，方能發展出在某一時間內加熱和局限電漿的方法。在美國、英國、法國、西德、荷蘭、瑞典、日本和蘇俄，關於揑縮效應的研究已經大有進展。

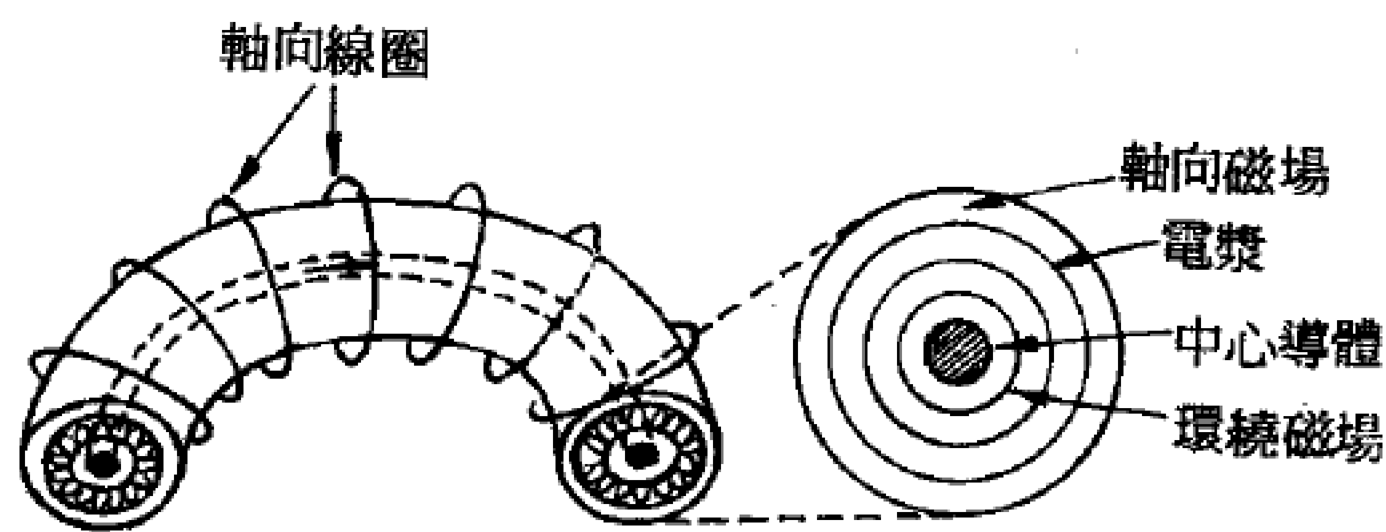


圖 12－57　環形管中之實心揑縮

圖 12—57 爲在環形管中的實心揑縮。實心由一個位於環形管中心的絕緣金屬環組成。環中的電流產生一環繞的磁場。此外，尙有一個環繞電漿而不在電漿內的軸向磁場。如圖 12—57 所示，電漿就在這兩個磁場之間被局限並被壓縮，在電漿中的加熱電流像通常一樣在管軸周圍流動。這種方法對不穩

獲得更進一步的了解。然而加熱用的電流本身也會產生不穩，所以其他的加熱方法也曾試用，包括使用無線電頻率能量的方法。

參閱"電漿態（*Plasma state*）"條。

【散度】（Divergence）

梯度算符∇與向量$\vec{A}$的純量積稱爲$\vec{A}$的散度，是一純量，即

$$div\,\vec{A} = \nabla \cdot \vec{A}$$

$$= \frac{1}{h_1 h_2 h_3}\left[\frac{\partial}{\partial u_1}(h_2 h_3 A_1) + \frac{\partial}{\partial u_2}(h_1 h_3 A_2) + \frac{\partial}{\partial u_3}(h_1 h_2 A_3)\right]$$

$$= \frac{\partial A_X}{\partial x} + \frac{\partial A_Y}{\partial y} + \frac{\partial A_Z}{\partial z} \quad \text{（直角坐標）}$$

$$= \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rA_r) + \frac{1}{r}\frac{\partial A_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial A_Z}{\partial z} \quad \text{（圓柱坐標）}$$

$$= \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 A_r) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}(A_\theta \sin\theta) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial A_\phi}{\partial \phi} \quad \text{（球坐標）}$$

【散度定理】（Divergence theorem）

詳閱"高斯定理（*Gauss' theorem*）"條。

【散射】（Scattering）

通常粒子與粒子間的反應，或是由一個粒子單獨分裂成數個粒子，或是由二個粒子相遇而產生數個粒子（三個粒子碰在一起的機會太少了，可以不去管它）。前一項反應過程，稱爲衰變（*decay*），後一項反應過程，稱爲散射。這兩種反應的過程都可以經由強交互作用、電磁交互作用或弱交互作用而完成。

散射的反應過程，通常其中一個粒子是靜止著的〔在靶（*target*）之內〕，而另一個粒子在進行中碰上了它。然後起複雜的反應，而成

爲幾個粒子。散射又可分爲彈性散射（*elastic scattering*）和非彈性散射（*inelastic scattering*）兩種。在彈性散射的過程中，反應前和反應後的粒子種類是一樣的



$$A + B \rightarrow A + B \qquad (1)$$

只是兩個粒子之間的能量和動量有了轉移。至於非彈性散射，則遠比彈性散射爲複雜。凡是不具（1）形式的散射，都是非彈性散射。在散射以後所產生的粒子，可以是非常之多，事實上只要入射粒子的能量夠大的話，散射出來的粒子的數目是沒有限制的。

粒子與反粒的偶對消滅也可以算是一種非彈性的散射。在散射過程所涉及的參數，是反應前後粒子的種類，它們的能量和動量，和每一個粒子的自旋態。當參與反應的粒子的數目（反應前的加反應後的）是 n 的話，則其能量和動量的分量共是 $4n$ 個數目。事實上，由於時空的平移與轉動的不變性，以及能量與動量的關係，實際的數目遠小於此。其數目爲 $3n-10$（$n=3$ 時此式不適用，此時能量與動量皆不能變動，也就是時空參數的數目是0）。至於散射的結果，通常都看它散射的截面（*scattering cross section*）。散射截面就是入射的粒子將靶內的粒子散射出去的或然率。其詳細的定義，是在單位時間內所散射的粒子數，除以入射粒子的通量。進一步去看它的微分截面（*differential cross section*）。其定義是在單位時間與單位立體角內所散射出來的粒子數，除以入射粒子的通量。截面的量度是面積，普通稱 $10^{-27}cm^2$ 爲毫邦（*millibarn*）以爲散射截面的單位。

當一電磁波通過一原子（或分子）時，擾亂了束縛電子的運動，而原子（或分子）可能就處於一激發態中，因電子如同強迫振盪之電偶極，故由相反之過程，激發原子可能發射與入射波頻率相同之電磁波，原子發射之能量，係原子的束縛電子從入射波所吸收者，這個過程稱爲散射，而所發射之輻射稱爲散射波。散射有助於降低原始或入射波之強度

，因從波所吸收之能量再發射於各方向，造成一從原始輻射移去能量的有效途徑。

【散射式起偏器】(Scattering type polarizer)

設計起偏器的人，通常無論在吸收、反射、折射或散射各方面，都使之不對稱。散射式起偏器通常不易使用，而且也缺乏實際上的重要性，然而它的操作原理卻是很值得一提的；在晴朗的天氣時，地球的大氣就像是個廣大的散射式起偏器，使得自天空而來的短波光（藍光與紫外光）偏振至某一程度。

天空中偏振的不對稱性，是由於觀察者相對於原始射線在位置上的不對稱性，也就是說觀察需約略地注視著垂直於日光射線的方向。如圖12—58，一個幾近水平的射線B，當它射中某一分子M，而使其電性結構產生橫向振動後，再生的波動便向四方八面傳播。站在一旁的觀察者，對於水平傳播的波S_h，只能觀察到垂直方向的振動，若還能觀察到水平方向的振動，則垂直視線必平行於原光束B；根據電磁學原理，B不含有縱波，因此B不可能有如此的振動。故S_h的偏振是線型而且是垂直方向的。

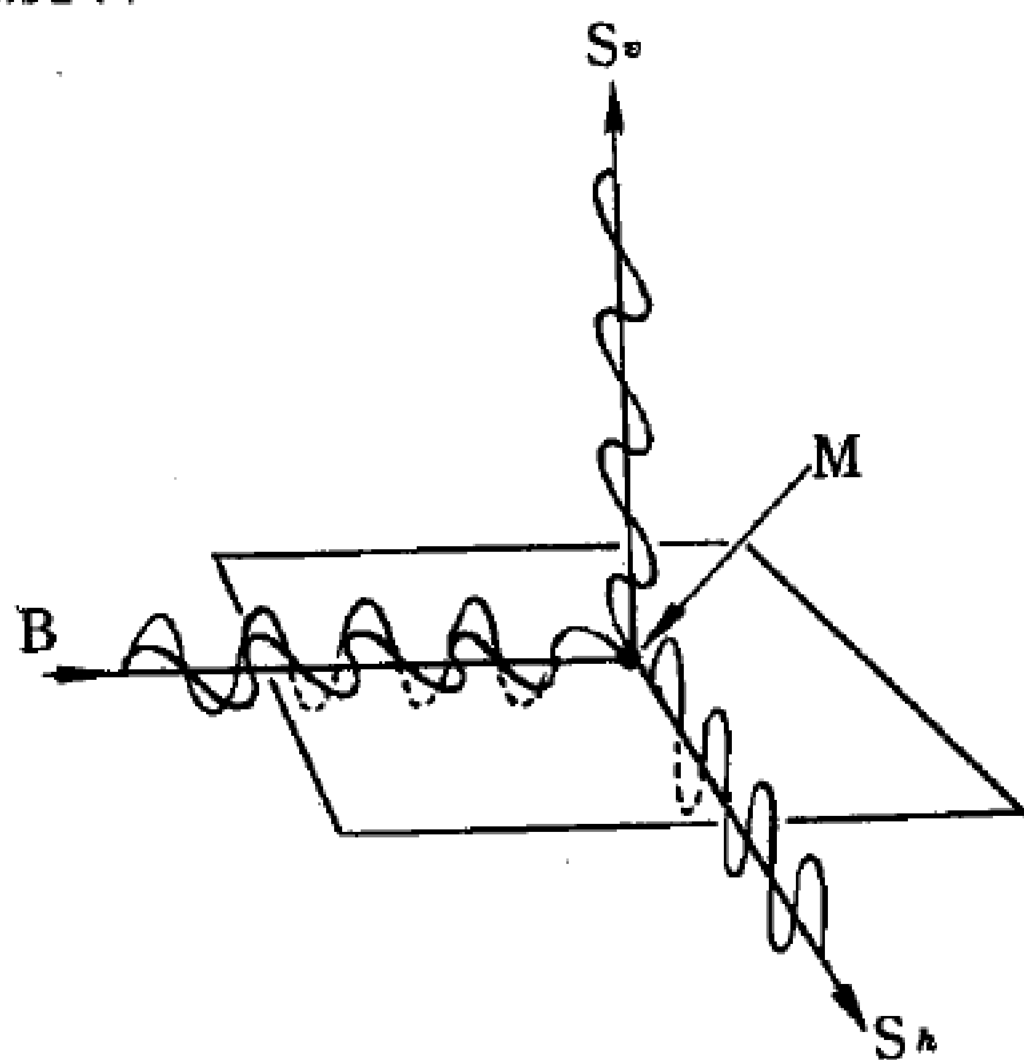


圖12—58
用於水平非偏振光B擊中空氣分子M後，產生90°散射光S_h、S_v，這些光線均呈高度偏振。

然而，若觀察者直視太陽的時候，情況又若何？他會接收到包括所有振動方向的光線，即所有本來垂直於視線的光線。任何情況都有可能，因已經沒有一束光與原光線平行了。所以，雖同是自分子M散射出的光線，在他看來並無偏振現象。

散射式起偏器可以用混濁的溶液或懸浮物製成，其中散射實體即是

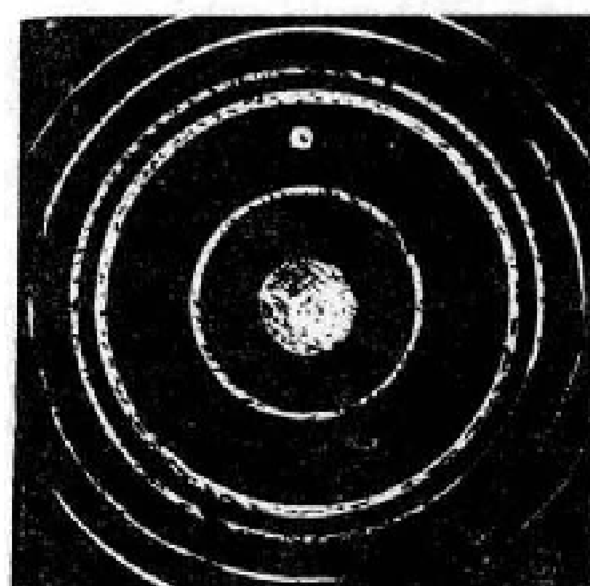
溶解的分子或懸浮微粒，其體積需小得與光線的波長相近似。如果這些散射實體太大的話，則反射光線將多於散射光線，造成的光線便迥然而異了。

【散射角】(Scattering angle)

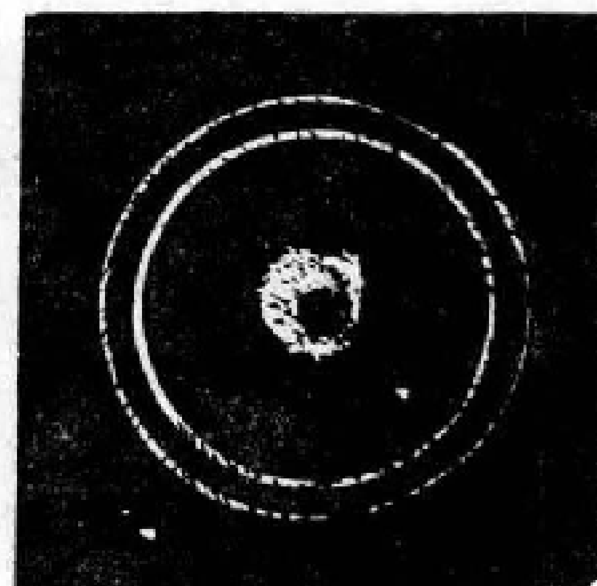
最後運動方向與原有入射方向所夾之方向角稱爲散射角。

【散射花樣】(Scattering pattern)

粒子打入晶體，經過散射所得的圖樣 (圖12—59)。



(a) X 射線由氧化鋯散射成的圖形



(b) 電子經金晶體散射所產生的環形圖

圖 12 — 59

【散射幅】(Scattering amplitude)

我們將散射矩陣的元素 S_{if}，稱爲 $i \to f$ 的散射幅，而 i 和 f 分別代表散射前和散射後的量子態，$i \to f$ 的微分截面與 $|S_{if}|^2$ 成正比。當所有參與散射的粒子均以螺旋態表示時，其散射幅又可稱螺旋幅 (*helicity amplitude*)。

【散射矩陣】(Scattering matrix ; S - matrix)

應用量子力學討論散射之過程時，整個系統在散射前 (即各部分未發生交互作用前) 的量子態可用一組本徵函數的線性組合表示。散射後的量子態可用此同一組本徵函數的另一線性組合表示。設散射前後量子態的波函數分別用 $\psi (t = -\infty)$ 及 $\psi (t = +\infty)$ 代表，則有

$$\psi (t = -\infty) = \sum_n a_n \psi_n$$

$$\psi (t = +\infty) = \sum_m b_m \psi_m$$

$$b_m = \sum_n S_{mn} a_n$$

以 S_{mn} 爲元素的矩陣稱爲散射矩陣。

【散射矩陣的么正性】(Unitarity of S-matrix)

因粒子散射後會產生許多不同的結果(道),而散射至每一道的機率之和應等於一。利用這個條件可證明散射矩陣 S 應滿足

$$SS^{+}=S^{+}S=I$$

I 代表單位矩陣,$(S^{+})_{ij}=S^{*}_{ji}$,這稱爲 S 矩陣的么正條件。應用么正條件在前向彈性散射過程可證明光學定理(*optical theorem*),即前向彈性散射幅的虛數部分與這散射的總截面(即所有不同的道的散射截面之和)成正比。

【散射矩陣理論】(S-matrix theory)

亦即色散理論(*dispersion theory*),是基本粒子中的一種理論。由於量子場論本身的缺點,如粒子的裸質量和裸電荷;自質量和自電荷等,由場論算出都是無窮大,許多人(以丘爲代表)主張放棄場論,而假設散射矩陣的元素本身滿足色散關係。由量子場論加上微觀因果律也可導出若干色散關係,這證明極繁,且不易推廣。散射矩陣理論則假設矩陣元素具有最大解析性,即是各種羅倫茲(*Lorentz*)不變量(例如 $p_{\mu}q^{\mu}$ 中 p 和 q 分別代表兩個粒子的動量)的解析函數,散射矩陣所具有的奇異點均與物理量有密切關係,如極(*pole*)與基本粒子的質量,或正常底限(*normal threshold branch point*)與某一物理過程所能發生的能量底限相對應。至於其他反常底限(*anomalous thresholds*)則因散射矩陣必須滿足么正性所引起,各種奇異點的位置均遵守蘭道定則(*Landau rule*),而繞過各奇異點的不連續函數則可由客考士斯定則(*Cutkosky rule*)求出,由此再用科西定理可寫下各種色散關係。

【散射截面】(Scattering cross section)

強度爲 I (即單位截面每秒鐘通過的粒子數)的粒子射束向某一力中心入射時,粒子散射到立體角 $d\Omega=\sin\theta d\theta d\phi$ 方向之數目設爲

$N(\Omega)$，θ 爲散射方向與入射方向的角度，ϕ 爲與入射方向垂直面上的轉角，則此散射截面，又稱微分散射截面（*differential scattering cross section*）$\sigma(\Omega)$，其定義爲

$$\sigma(\Omega)=\frac{N(\Omega)}{I}$$

其因次爲面積。此量代表一粒子在某一力中心散射到某一方向的機率。如果力中心爲庫倫力 k/r，則庫倫散射截面可求之得

$$\sigma(\theta)=\frac{e^2k^4}{2m^2v^4}\csc^4\frac{1}{2}\theta$$

式中 m 和 v 分別爲粒子的質量與入射速率。

將散射截面對立體角積分即得總散射截面（*total scattering cross section*）σ_t

$$\sigma_t=\int\sigma(\Omega)\,d\Omega$$

總散射截面的大小決定此力作用的強弱。

參閱"散射（*Scattering*）"條。

【散粒效應】（Shot effect）

陰極放射的電子流強度在不大的範圍內之不規則變動，產生這些不規則變動的原因是：雖然在各個較大時間間隔內平均說來陰極能發出相同數量的電子，並且電子流的平均值保持不變，但在短小的時間過程中，卻發生著偏離平均值的不規則變動——陰極發射的電子一會兒多些，一會兒少些。這種圍繞著平均值的不規則變動，即所謂起伏變化。飛越電子的數目在很小的時間間隔內的變動，使得屏極電流的強度也時時刻刻發生著不大的不規則變動。當電子管在飽和電流狀態工作時，這種變動特別顯著，因爲在這種情況下，屏極電流的強度直接隨著飛出電子的數量而變化。不過當屏流小於飽和電流的時候（即電子管在普通情況下工作的時候），屏極電流的強度在一定程度上仍是隨著飛越電子的數量

而變化，因此便經常都有著一些不大的不規則變動。這種屏流變動經過相當大的放大，便在聽筒內產生一種噪音，如碎粒墜落時所發出的聲音一樣，故此種現象叫做散粒效應。在強放大的多管接收機內，前面數隻電子管中的散粒效應，就是在接收機輸出端發生噪聲的原因之一。

【散裂反應】(Spallation reaction)

一種核反應，放出幾種粒子，如



$$^{209}Bi + {}^{4}He \rightarrow {}^{210}At + 3n$$

【斐索】(Armand Hippolyte Louis Fizeau 1819—1896)

法國人，1819年九月廿三日生於巴黎，家境富裕，故能隨其性之所近致力於物理學的實驗研究。1845至1849年之間與佛科 (*Foucault*) 合作，研究太陽光譜的紅外線部分，及其他對熱與光的觀察。1849年斐索發表對光速的實驗結果，這是首次就地球上測光速所得的最可靠數值，並對都卜勒原理 (*Doppler principle*) 作正確解釋，證明用此原理可測在視線上星球的相對速度。1815年對在運動介質中的光速從事一連串的實驗，以研究是否可測得以太與物質的相對運動。斐索1860年當選法國科學院院士，1896年九月十八日逝於文朱爾 (*Venteuil*)。

【斐索實驗】(Fizeau's experiment)

斐索曾做一實驗以測量光在運動的透明體內之速度，他的實驗裝置如圖12—60所示，光由 S 發出，到半反射鏡 P，則有一部分光透過 P，經水流抵反射鏡 M_1，M_1 將光反射到反射鏡 M_2，M_2 再將光反射到反射鏡 M_3，最

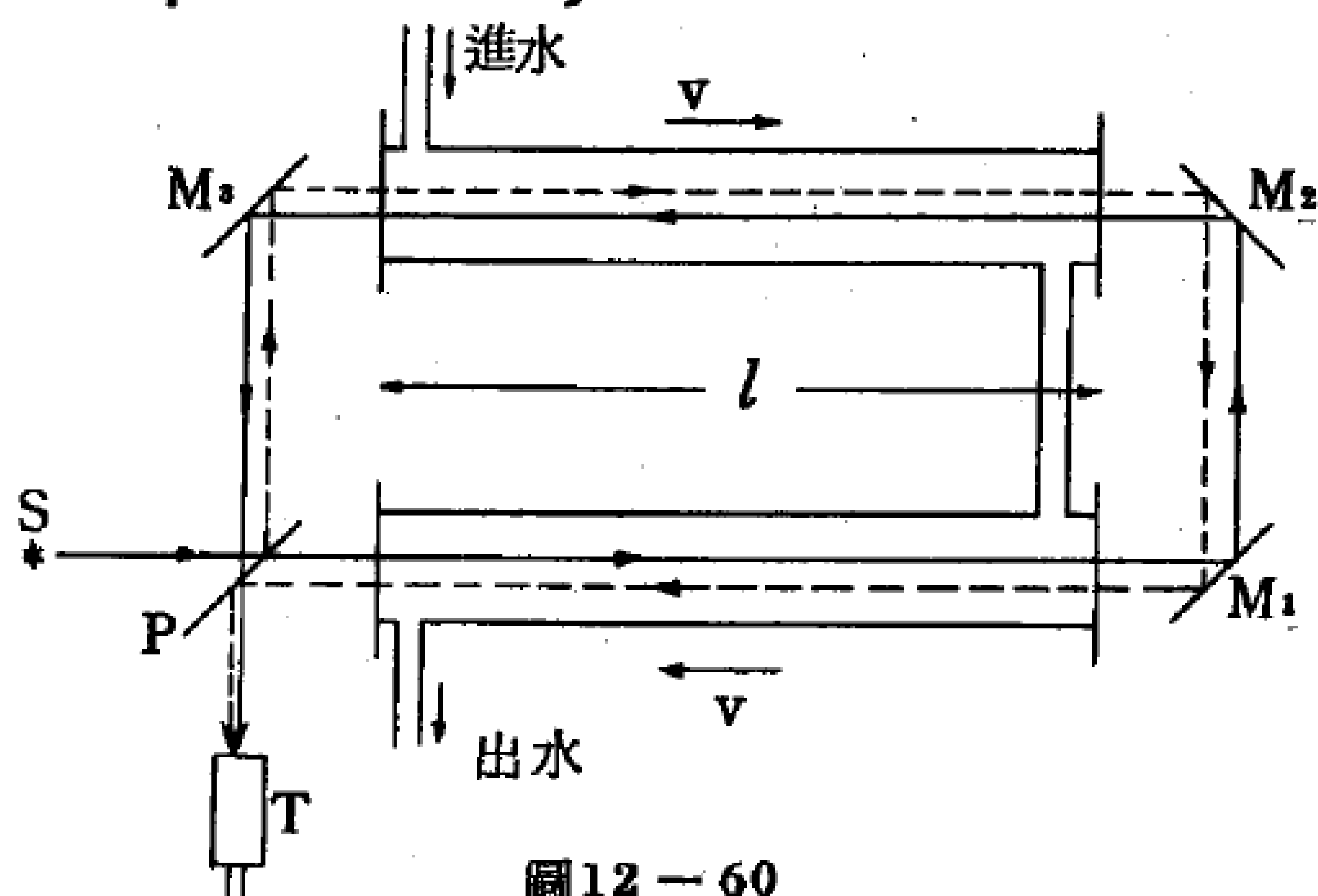


圖12－60

斐索實驗的裝置，箭頭所指者爲水流的方向，P爲半反射鏡，M_1，M_2，M_3 爲反射鏡

後M_3將光反射到P，光通過P而抵觀測點T；光在此一路程中，永與水流的速度$\vec{v}$的方向相反。光的另一路程爲由P反射到M_3，再到M_2，再到M_1而回到P，P將光反射而抵T，此一路程，光走的方向永與水流的方向相同。這兩種不同路徑的光在觀測點T產生干涉，由干涉條紋即可推測光在兩不同路徑上所費的時間有何不同，更進而推測出光在水流內的速度爲多少。

當時相對論並未問世，所以皆用以太（*ether*）說來解釋，其說法如下：若水的折射率爲n，則光在對以太爲靜止的水中，其速度爲$\frac{c}{n}$。現在若水以速度v運動，當時有一說法，以爲以太被水拖著走，但以太隨水移動的速度並不與水速相同，而爲水速v的f倍，即fv，f稱爲拉曳係數（*drag coefficient*）。

由古典的速度相加原理（即由伽立略變換而得來的速度相加原理），則光在流動的水中對以太的速度爲：

$$\frac{c}{n} \pm f v$$

此即光在流動水中的速度，"＋"表示光的方向與水流方向相反的速度，"－"表示兩者方向相同時的速度。

所以，在斐索實驗中，兩路徑的時間差爲：

$$\Delta t = \frac{2l}{\frac{c}{n} - fv} - \frac{2l}{\left(\frac{c}{n} + fv\right)}$$

Δt 可由干涉條紋推算出來，實驗的結果是：假若$f = 1 - \frac{1}{n^2}$，則此理論與實驗相符合。

但此種以太說並不完整而且缺乏存在的根據。現在我們以相對論來解釋，不需要以太的假設，我們會發現拉曳係數只不過是相對論的一種效應。

因爲光對水速度爲$\frac{c}{n}$，而水現有一速度 v，所以對靜止的觀測者而言，光在水內的速度可由速度變換式（*transformation formula of velocity*）得知爲：

$$u=\frac{\frac{c}{n}\pm v}{1\pm\frac{v}{nc}} \qquad \left(\begin{array}{l}+\text{爲光的方向與水速}\vec{v}\text{相反}\\-\text{爲光的方向與水速}\vec{v}\text{相同}\end{array}\right)$$

若 $v\ll c$，則

$$u=\frac{c}{n}\left(1\pm\frac{vn}{c}\right)\left(1\pm\frac{v}{nc}\right)^{-1}$$

$$=\frac{c}{n}\left(1\pm\frac{vn}{c}\right)\left(1\mp\frac{v}{nc}+\cdots\cdots\right)$$

$$\simeq\frac{c}{n}\left(1\pm\frac{vn}{c}\mp\frac{v}{nc}\right)$$

所以光在流水內的速度爲：

$$u\simeq\frac{c}{n}\pm\left(1-\frac{1}{n^2}\right)v$$

所以，拉曳係數 $f=1-\frac{c}{n^2}$（我們用拉曳係數這個名詞只不過是爲了習慣上的原因，並不包含有以太說的任何意義）。

【斯拉特行列式】（Slater determinant）

對一包含N個不互相作用的粒子系，其反對稱本徵函數

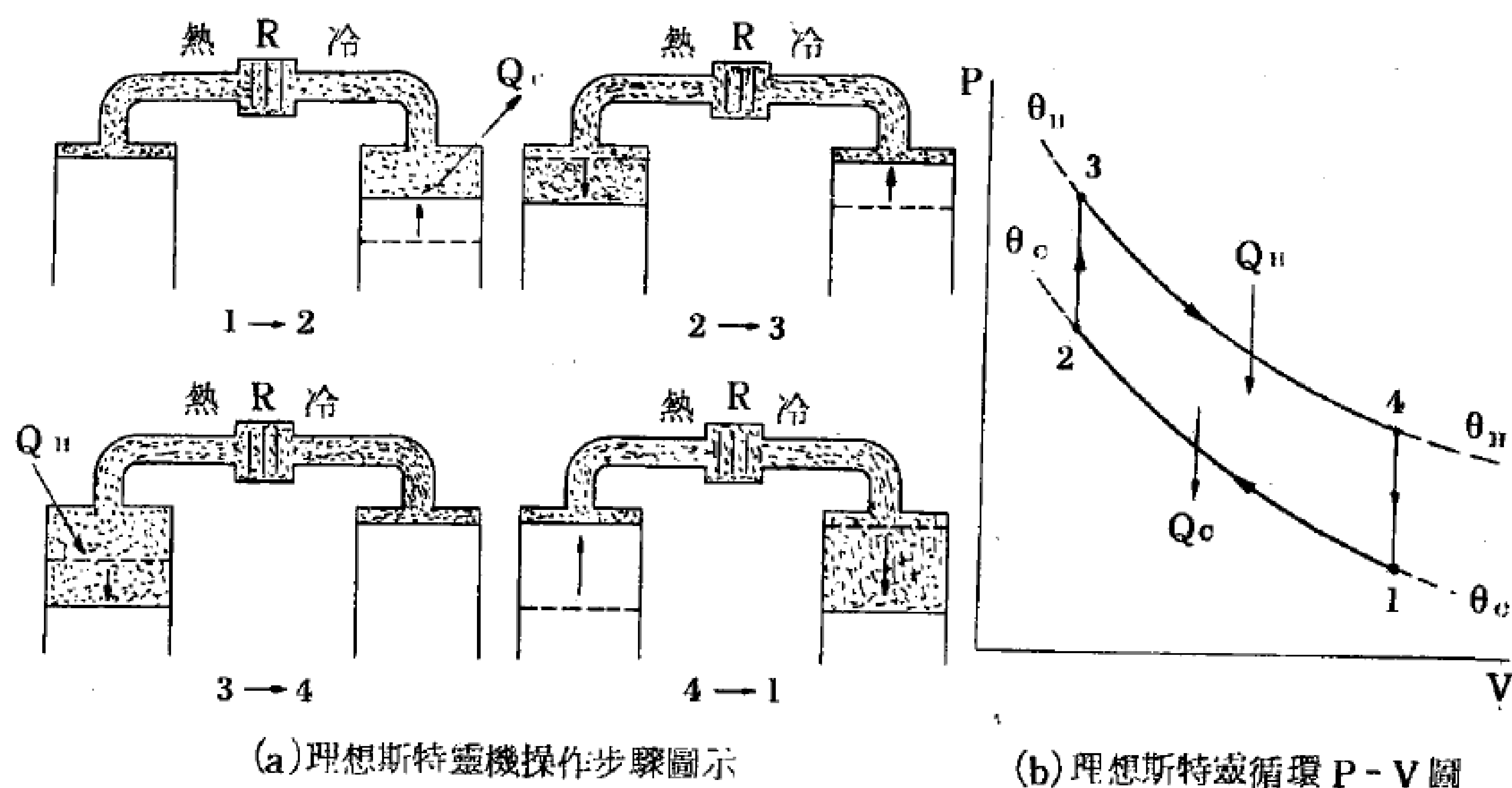
$$\Psi_A=\frac{1}{\sqrt{N!}}\begin{vmatrix}\Psi_\alpha(1)\Psi_\alpha(2)\cdots\Psi_\alpha(N)\\ \Psi_\beta(1)\Psi_\beta(2)\cdots\Psi_\beta(N)\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ \Psi_n(1)\Psi_n(2)\cdots\Psi_n(N)\end{vmatrix}$$

此即斯拉特行列式。

【斯特靈機】(Stirling machine)

在 1816 年熱力學尚未建立時，斯特靈(*Robert Stirling*)設計了一種熱空氣機器而且得到專利，這機器的功用是把燃燒釋出的能量之一部分轉變爲功。斯特靈機一直爲人們所愛用，但是由於蒸汽機和內燃機的進步，終於將它棄置了。到了 1940 年，荷蘭恩和芬(*Eindhoven*)地方的菲力浦(*Philips*)公司的工程師們使斯特靈機重新流行，再度成爲極富興趣的許多研究工作之對象。

圖 12—61(*a*)呈現斯特靈機之稍作理想化的操作步驟。同一軸上接有兩個活塞，左邊的是膨脹活塞，右邊的是壓縮活塞，兩者之間有適當



(a)理想斯特靈機操作步驟圖示　　(b)理想斯特靈循環 P－V 圖

圖 12－61

的連桿裝置聯繫著，當軸在轉動時，這兩個活塞就以不同相位而運動。活塞之間的空間內充滿著氣體，左邊部分一直與高溫熱庫(*heat reservoir*) 燃燒中的燃料接觸，右邊部分則保持與低溫熱庫(*cold reservoir*)相接觸。兩部分氣體之間，有個叫做蓄熱器(*regenerator*)或稱爲復熱爐的裝置*R*，它是由一堆鋼絲絨(*steel wool*)或一排金屬障板(*baffle*)組成，導熱率很低，足以維持熱端與冷端的

溫度差，而不發生可察覺的熱傳導。斯特靈循環包括圖 12—61(a)所示的四個過程，其間的壓力和體積變化，則如圖 12—61(b)所示（該圖是以理想狀況爲準而作的）。其操作步驟：

1. 1 → 2 爲左活塞留在頂部，右活塞上升一半，壓縮冷氣體並與低溫熱庫接觸，使熱量 Q_C 逸出。這是個近似等溫壓縮，圖 12—61(b)中則畫成溫度爲 Q_C 之嚴格的等溫過程。

2. 2 → 3 爲左活塞下移，右活塞上升，使體積不發生變化，卻把氣體自冷端壓返通過蓄熱器而到達熱端，再進入溫度較高（Q_H）的左邊。故蓄熱器必須以 Q_R 的熱量供給該氣體。圖 12—61(b)的 2 → 3 過程是在體積一定的狀況下進行的。

3. 3 → 4 爲右活塞不動，左活塞保持與高溫熱庫接觸，並向下移動，使氣體作近似等溫膨脹，在這過程中，有 Q_H 熱量在溫度 θ_H 下被吸收，如圖(b)所示。

4. 4 → 1 爲兩個活塞以相反方向運動，迫使氣體通過蓄熱器，由熱端移向冷端，把約等於在 2 → 3 過程中吸收之 Q_R 的熱量還給蓄熱器。這個過程實際上是等容的。

這循環的淨結果是：在高溫 θ_H 時吸收熱量 Q_H，在低溫 θ_C 處放出熱量 Q_C，以及對環境作了 $W = Q_H - Q_C$ 的功，而在兩個等容過程中沒有熱的淨傳遞。所須強調的是，圖 12—61(b)的作出，是以下列假設爲根據：(1)所用氣體爲理想氣體(2)氣體不會漏出去(3)熱量不會由汽缸壁發生淨得或淨失(4)蓄熱器不傳熱(5)沒有摩擦。實際的斯特靈循環指示圖（*indicator diagram*）應較像圖 12—62。即使各理想化的狀況都能實現，在低溫 θ_C 處仍會有 Q_C 熱量釋出，因此，不能把所有輸入的 Q_H 都變爲功。

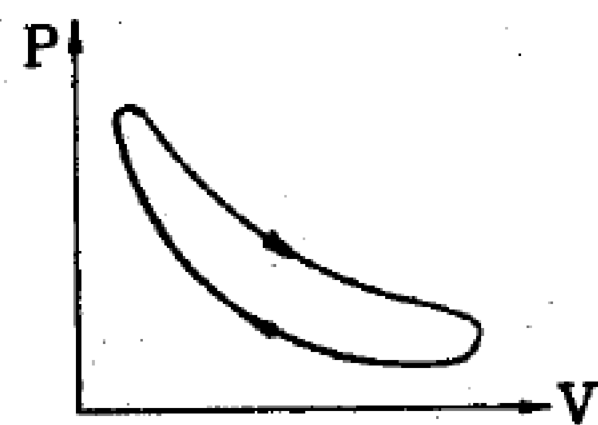


圖 12 — 62
實際的斯特靈機之指示圖

【斯勒格】（Slug）

在英國工程制之單位，力、長度、時間是基本量，而質量則爲導出量，由 $m=\frac{F}{a}$ 決定。1 斯勒格爲在 1 磅 力作用下產生 1 呎秒 $^{-2}$ 之加速度的物質之質量。

$$1\text{ 斯勒格}=\frac{1\text{ 磅力}}{\text{呎秒}^{-2}}\doteq\frac{32.17\text{ 磅達}}{\text{呎秒}^{-2}}$$

$$\doteq 32.17\text{ 磅}=1.459\times10^{4}\text{ 克}$$

或 $$1\text{ 磅}=0.0311\text{ 斯勒格}$$

【斯塔旦】(Space tracking and data acquisition network ; S.T.A.D.A.N.)

即太空追蹤及資料接收系統，它是由 1957 年建立之纖細追蹤系統發展而成，它的地面站使用無線電及光學儀器來追蹤和收集由無人衞星所送發的資料，如探險者和軌道中的地球物理觀測站等等。

【普里斯特萊】(Joseph Priestley 1733—1804)

英國人，爲一教士，貢獻在於“各種氣體之試驗與觀察”，曾發現氧氣並著專論詳述之，而後發現一氧化二氮（笑氣），又確定了鹽酸、二氧化硫、四氟化矽等物質的性質， 1794 年因政治關係逃亡美國， 1804 年在美國逝世。

【普拉萊特、蘭特照相機】(Polariod - Land camera)

普拉萊特、蘭特照相機是一種快速照相機，它能在十秒鐘內拍攝照片並顯影。

用一種特製的膠片包含著兩筒獨立的紙捲：一捲是作負片用的照相紙，另一捲是作正片用的照相紙。照相機的透鏡和快門與其他照相機一樣。對好光並拍攝過後，拉起在照相機底部的紙捲，並使曝過光的負片照相紙轉向照相機的背部。同時，與負片相配合而作正片用的照相紙，從正片紙捲中拉出來。拉下後，打開了一小包顯影劑，塗抹滾子把顯影劑撒在曝過光的負片和作正片用的照相紙之間。

等十秒鐘後，顯影劑完成了它的工作，負片已經顯影。即在曝光時

被光線照射過的地方變得非常黑暗。此暗黑的部分，由已固定在負片上的銀原子構成。未固定在負片上的銀化物微粒，被顯影劑所分解。然後轉貼在作正片的照相紙上。由此可知，代替了對銀化物微粒冲洗，通過另一個顯影過程，這些微粒直接轉貼正片上，並固定在上面。

十秒鐘過去後，即可打開照相機的後蓋，拿出正片。爲了不讓它褪色和損壞，必須用一種特別的黏貼劑在正片上塗一層保護照片的薄膜。這種保護照片的薄膜是在買膠片時一起供應的。

【普芬德線系】(Pfund series)

$$\nu = R_H\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$$

其中n_1等於5，n_2是大於5的整數。

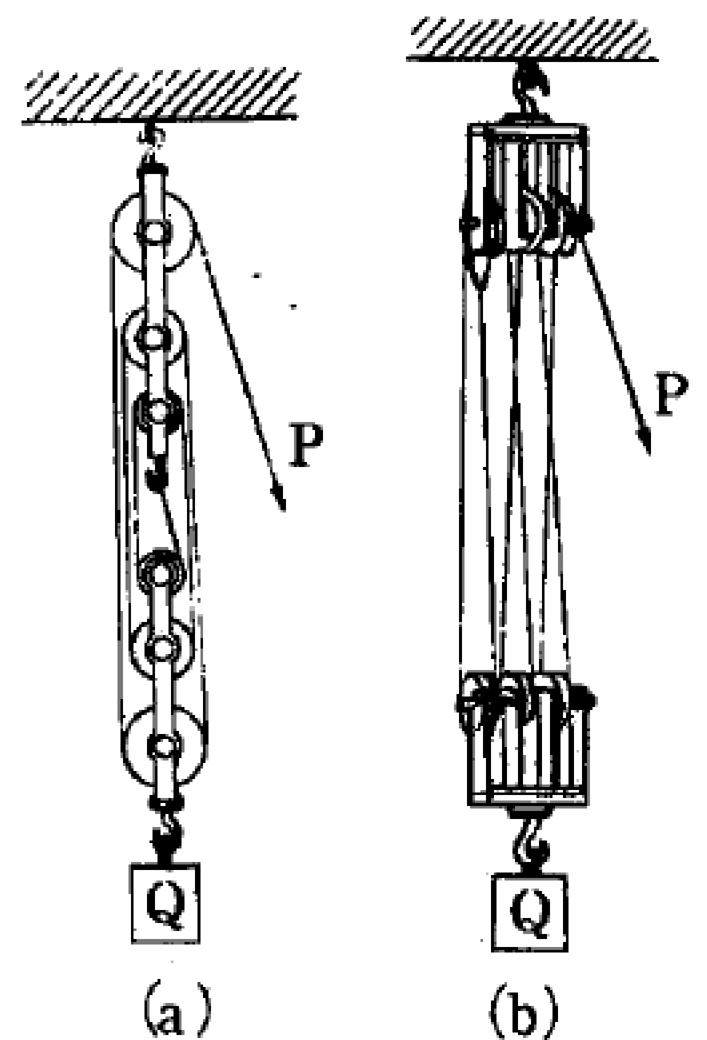
【普通風】(Prevailing wind)

在一年某季內某地面上長時間吹動的風。

【普通鈾】(Normal uranium)

即天然鈾(*natural uranium*)。

【普通滑輪組】(Pully block)



(a)　(b)
圖 12 — 63　普通滑輪組

普通滑輪組是由數目相等的定滑輪和動滑輪組成的。而這些滑輪或者是上下相間地坐落在同一個輪轅，如圖12—63(*a*)，或者是左右毗鄰地裝在同一根軸心上面如圖12—63(*b*)。繩索之一端固定在上輪轅上，這也就是等於繫牢在一個固定的吊掛設備上，然後依次將繩索繞過每一個下面的動滑輪和上面的定滑輪。另在繩索不受拘束之一端以P力拉曳，而負荷則吊掛在活動的輪轅上。

在此可將所有各段繩索視爲互相平行，至於繩索不受拘束一端之方向，即P之著力方向，則並無關宏旨。當取得平衡時，負荷Q乃平均分佈在所有各段繩索上面，譬如就每三個定滑輪和動滑輪，即共有六段繩索之情形而言，則每一段繩索僅承擔$\frac{Q}{6}$之負荷。因此，導致平衡之力也必

定是$P=\frac{Q}{6}$。若有 n 個定滑輪和 n 個動滑輪時，則平衡條件遂爲

$$P=\frac{Q}{2\times n}$$

若欲舉升負荷Q，而舉升之運動並無摩擦且爲等速時，則所需之P力大小仍和上面一樣。因此，在舉升時遂能省力。其傳動比乃爲$P:Q=1:2n$。

倘欲一組共有 3 × 2 = 6 滑輪之滑輪組將一負荷舉升 2 米時，則每一段繩索均非縮短 2 米，而不受拘束之繩端勢非拉曳一段 6 × 2 = 12 米之距離不可。在此種情況之下，若$Q=150$仟克重時，則$P=\frac{Q}{6}=25$仟克重。作用力×作用力行程之積 25 ×12米仟克重仍然等於負荷×負荷行程之積 150× 2 米仟克重。因此在應用滑輪組時，並無功之變化發生。應用之目的僅爲省力而已；但此項省力之效果卻係以行程之耗費換取而來。作用力P在同一時間內所曳引之距離乃等於負荷Q行程之六倍。故P亦以六倍於Q之速度而移動。這也就是說，我們是以增加行程和速度的方法來達到省力之目的。

【普通鎢絲燈泡】(Ordinary tungsten lamp)

係利用鎢絲的高電阻性質，當電流通過時發熱且發光的原理製成，爲防氧化燒斷，通常封在玻璃泡內，40 瓦以下眞空，40 瓦以上充氮氣或氬氣。燈泡效率以流明每瓦表示之。40 瓦者約每瓦 10 流明，200瓦者每瓦15 流明，1,000 瓦者每瓦 20 流明，瓦數愈大效率愈高。規定壽命 1,000 至 1,500 小時，須按規定電壓，電壓加高壽命縮短，反之加長。

【普雷伏士特互換定律】(Prevost's law of exchange)

輻射爲互換過程，並非單向過程。

【普遍氣體常數】(Universal gas constant)

理想氣體的體積、壓力、溫度符合公式

$$PV = nRT$$

在密度甚低時，所有氣體均有相同之R值，即

$$R = 8.314 \text{焦耳/摩爾}\ ^{\circ}K = 1.986 \text{卡/摩爾}\ ^{\circ}K$$

R稱爲普遍氣體常數，n爲氣體摩爾數目。

【普適氣體常數】(Universal gas constant)

即普遍氣體常數。

參閱“普遍氣體常數(*Universal gas constant*)”條。

【普適費米交互作用】(Universal Fermi interaction)

費米(*Fermi*)於1933年研究貝他衰變時，模倣電磁作用中的漢彌頓(*Hamilton*) $j_{\mu}A^{\mu}$ (j是電流，A是電磁位)將貝他衰變(由弱交互作用引起)的漢彌頓寫成

$$\frac{G}{\sqrt{2}}(j_{\mu}^{H} j^{L\mu} + j_{\mu}^{H+} j^{L\mu+})$$

式中j^{H}及j^{L}分別代表核子及輕子(當時尙不知緲子的存在)的弱電流，G是費米常數。後來發現許多由弱交互作用引起的反應，例如緲子衰變及超子貝他衰變等，也可以將它們的漢彌頓歸納成類似的形式，稱爲電流。電流型式爲 $\frac{G}{\sqrt{2}} j_{\mu} j^{\mu+}$

$$j_{\mu} = j_{\mu}^{H} + j_{\mu}^{L}$$

j_{μ}稱爲弱電流，j^{H}代表所有強粒子的弱電流。由於只需一耦合常數就可代表各種反應，這種理論稱爲普適費米作用。在原子核的貝他衰變中，由於電子的質量遠小於原子核，可將原子核視爲靜止，此時有關的漢彌頓化簡成兩項，一項與費米躍遷有關，即原子核在衰變前後的量子態必須滿足下列選擇定則：$\triangle J$ (自旋之差) = 0，宇稱性不變。另一項

與革卯、特勒躍遷（ *Gamow-Teller transitions* ）有關，即$\triangle J = 0$（不包括$0 \rightarrow 0$），± 1，宇稱性不變。中子貝他衰變時兩種躍遷都有，但$^{14}O \rightarrow {}^{14}N + e^{+} + \nu_{e}$是$0 \rightarrow 0$躍遷，只有費米躍遷是可能的，$^{6}He \rightarrow {}^{6}Li + e^{-} + \bar{\nu}_{e}$是$\triangle J = 1$躍遷，乃是純革卯、特勒躍遷。在理論上弱電流可寫成

$$j_{\mu}^{L+} = \bar{\varphi}_{e}\gamma_{\mu}(1+\gamma_{5})\varphi\gamma_{e} + \bar{\varphi}_{\mu}\gamma_{\mu}(1+\gamma_{5})\varphi\gamma_{\mu}$$

$$j_{\mu}^{H} = \bar{\varphi}_{p}\gamma_{\mu}(C_{V}+C_{A}\gamma_{5})\varphi_{n} + \cdots$$

式中γ是狄悅克矩陣，φ是粒子的波函數。由實驗測得$C_{V} \approx 1$，$C_{A} \approx 1.21$。在羅倫玆（ *Lorentz* ）變換之$\bar{\varphi}\gamma_{\mu}\varphi$及$\bar{\varphi}\gamma_{n}\gamma_{5}$中，$\varphi$分別相當於純向量和準向量。爲了解釋$C_{V} \approx 1$，1958年范曼（ *Feynman* ）和葛爾曼（ *Gell-Mann* ）共同提出守恆向量流理論（ *conserved vector current theory* ），他們指出在電磁作用中，電子和強交互作用無關，質子則爲介子雲所包圍。然而由於電流j^{EM}守恆，所以它們的電荷大小相等。同樣在弱交互作用中，j^{L}和j^{H}的向量部分形式完全相同，顯示j^{V}（j^{H}的向量部分）守恆，而且和j^{EM}的同位向量部分〔由於$Q = I_{3} + \frac{Y}{2}$，j^{EM}在同位空間中可分爲同位向量部分（ *isotopic vector part* ）和同位純量部分（ *isotopic scalar part* ）〕在同位空間中屬於同一向量，只是沿不同方向的分量而已。葛爾曼進一步提出由於電磁作用中有磁矩存在，弱交互作用中也應有相對的弱磁性（ *weak magnetism* ）。後在1963年被吳健雄在哥倫比亞大學由實驗證實。1963年在義人卡必步（ *Cabbibo* ）提出卡必步模型（ *Cabbibo model* ）後，將守恆向量流加以修正，用以推廣到奇異粒子的貝他衰變，將八正道和弱作用連貫起來，得到很大的成功。他將j^{H}分爲奇異性守恆電流（ *strangeness-conserved current* $j^{(0)}$）和奇異性改變電流（ *strangeness changing current* $j^{(1)}$）兩部分（即貝他衰變前後強粒子的奇異性改變與否）：

$$j^{H} = a j^{(0)} + b j^{(1)}$$

並假設 $a^2 + b^2 = 1$，$a = \cos\theta$，θ 稱爲卡必步角由實驗得知 $\theta =$ 0.264 弧度，$C_V \approx 1$ 可用部分守恆準向量流假設（*partially conserved axial current hypothesis*）解釋，此假設通常用 *PCAC* 代表。由 *PCAC* 可立即導出戈伯格、吹曼關係（*Goldberger-Trieman relation*）。1965 年兩位美籍猶太人魏柏格（*Weissberger*）和艾德勒（*Adler*）分別利用 *PCAC* 及電流代數導出艾德勒、魏柏格總和定則（*Adler-Weissberger sum rule*），準確的利用 $\pi^- + p$ 和 $\pi^+ + p$ 的總散射截面之差的積分算出 C_V 之值爲1.23。

【晶系】（Crystal system）

在結晶學裏，將晶體歸分爲七個晶系。例如立方晶系、四角晶系、六角晶系及正交晶系等，乃常見的晶系。到底一個未知的晶體需屬何種晶系，只須將 *X* 光繞射稍加利用即可知曉。平常用德拜、叶若照相機（*Debye-Scherrer camera*），拍取該未知晶體之繞射圖案，將該圖案與各種晶系之標準圖案相比。由各繞射線之相關位置及明暗度，即可測得該晶體所屬之晶系。

【晶狀體】（Crystalline lens）

睛珠是人眼的角膜內的一部分，和凸透鏡相當，故稱爲晶狀體。

【晶格】（Lattice）

把固體的原子或分子看成固定不動，則其位置可以表示出這些在空間有週期性的點的集合稱爲晶格。就每點而言，所觀察到的其他點的排列皆相同，也就是由基本位移向量的線性結合所產生的各點。晶格是一種數學上的抽象觀念。眞正的晶體中，如果邊界能達到無限遠處，也可視爲一種晶格。每一晶格之點可能包括一個或一個以上的原子，因此每一晶格之點又有一組根基，由晶格和根基組合而成爲晶體結構。

【晶格波】（Lattice wave）

晶體格子內的熱振盪聲子所產生的波。

【晶格和】(Lattice sums)

廣義而言，在晶體的晶格空間中，以點位置的函數爲其項的任意和均可稱爲晶格和。具體而言，設一晶體晶格的點位置定義爲

$$\vec{r}_n = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c}$$

式中 $n = (n_1, n_2, n_3)$，則形如 $\sum_n f(\vec{r}_n)$ 的式子均可稱爲晶格子；形如 $\sum_{m,n} f(\vec{r}_m, \vec{r}_n)$，$\sum_m f(\vec{r}_m, \vec{r}_n)$，$\sum_{l,m,n} f(\vec{r}_l, \vec{r}_m, \vec{r}_n)$ 等等亦均稱爲晶格和。舉例而言，設

$$f(\vec{r}_m, \vec{r}_n) = |\vec{r}_m - \vec{r}_n|^{-p} \quad (p \text{ 爲正整數})$$

則我們有以下格子和 $\sum_{\substack{m,n \\ (m \neq n)}} |\vec{r}_m - \vec{r}_n|^{-p}$ 或寫爲

$$\sum_{m,n}{}' |\vec{r}_m - \vec{r}_n|^{-p}$$

在計算許多晶體的結合能時，晶格和的計算相當重要，例如在惰性元素所形成的晶體中，任二原子間的位能假定爲林納、江士位能 (*Lennard-Jones potential energy*)

$$U(R_{ij}) = 4\epsilon\left[\left(\frac{\sigma}{R_{ij}}\right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{R_{ij}}\right)^{6}\right]$$

式中 ϵ，σ 爲由實驗決定的參數。於是此晶體的結合能可以寫成

$$U_{tot} = \frac{1}{2}N(4\epsilon)\left[\sum_j{}'\left(\frac{\sigma}{R_{ij}}\right)^{12} - \sum_j{}'\left(\frac{\sigma}{R_{ij}}\right)^{6}\right]$$

將 $R_{ij} = |\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ 表爲 $p_{ij}R$，此 R 爲最鄰近距離；晶格和的計算可以求出 $\Sigma' p_{ij}^{-12}$，$\Sigma' p_{ij}^{-6}$。經實驗，除 ^3He 及 ^4He 以外，惰性元素的晶體爲立方緊密結合結構，由此導致

$$U_{tot} \cong 2N\epsilon\left[12.131\left(\frac{\sigma}{R}\right)^{12} - 14.454\left(\frac{\sigma}{R}\right)^{6}\right]$$

位能在平衡時爲最小，此可求出平衡位置的 $\left(\frac{R}{\sigma}\right) = 1.09$，類似的結

果可以依法推出。同樣地，在計算離子晶體的庫倫結合能時，需要計算馬得隆常數（*Madelung constant*）的晶格和：

$$\alpha = \sum_{j}{}' \frac{(\pm)}{p_{ij}}$$

式中±視離子電荷而定。不過離子和的計算相當困難，其收斂速率也相當慢；所以有如伊夫仁（*Evijen*）方法、厄瓦特（*Ewald*）方法都是針對計算晶格和而設計的。

【晶格的根基】（Basis of lattice）

每一個晶格點的位置都有著一個或數個原子。這些原子，稱為晶格的根基。

【晶格缺陷】（Lattice defect）

當溫度大於絕對零度時，晶體為了要維持最小的可能自由能（*free energy*），而允許些微的不規性，稱為晶格缺陷。晶格之缺陷，並不涉及外來的雜質，它純粹肇因於晶格排列的不規則性。例如，由於外在因素，使晶格點的原子離開其固定的位置，因此造成了空位（*vacancy*），如果此離位之原子出現在晶格點間，便造成填隙（*interstitials*）等。

【晶格動力學】（Lattice dynamics）

研究晶體格子的熱振盪性質。

【晶格熱容德拜模型】（Debye model of the lattice heat capacity）

如愛因斯坦（*Einstein*）模型所述，可視固體由彈簧體組成，德拜（*Debye*）假設彈簧體是 $3N$ 個互相獨立的簡諧振體，每個諧振體各有其振動頻率 $n\omega$。以波司（*Bose*）、愛因斯坦分佈考究之，每個諧振體振動頻率平均值為 $\langle n \rangle \omega$，設諧振體的頻率在 ω 與 $\omega + d\omega$ 之間的數目為 $D(\omega)\,d\omega$，則全部振動能量為

$$\int 3N\langle n\rangle \hbar\omega D(\omega)\,d\omega$$

$$\langle n\rangle=\frac{1}{e^{\beta\hbar\omega}-1}\qquad \beta=k_BT$$

德拜用德拜近似法（*Debye approximation*）求得晶格熱容爲

$$c_V=9Nk_B\left(\frac{T}{\theta}\right)^3\int_0^{x_D}dx\,\frac{x^4e^x}{(e^x-1)^2}$$

式中 θ 爲德拜溫度，其定義爲：

$$k_B\theta=\hbar\omega_D$$

ω_D 是頻率的最大値，稱之爲德拜頻率。積分上限爲 $x_D=\dfrac{\hbar\omega_D}{k_BT}$。在高溫時，德拜的結果與杜隆、泊替定律（*Dulong-Petit's law*）吻合，在低溫時，亦可解釋晶格熱容與溫度立方成正比的關係。

【晶粒之大小】（Size of crystal）

一塊多晶體（由許多單晶擠在一起而成）之平均晶粒大小，可由所拍取的繞射圖案而得知。這種方式只能大略估計其大小，要準確的估計晶粒大小，還得靠顯微鏡，通常可用針孔式照相術所得之圖案來量測。假使該物體之晶粒大，那麼被 X 光直接射上之晶粒亦有限，因此得來的繞射圖案就只呈現幾個繞射點而已。如晶粒小，那麼被 X 光射上之晶粒多，繞射點之數額亦相對的爲之增加，所以其結果是環狀繞射圈呈現在圖案裏。

【晶體】（Crystal）

在固態內有一種情形：分子的排列非常整齊，分子間的束縛力也非常強，就成爲晶體。

在 X 射線尙未應用至結晶分析以前，結晶之種類僅從其外形之對稱性加以分類，即是依結晶軸長度之比與軸間之角度等的關係，將結晶分爲六種晶系。此六種晶系爲：立方晶系（*cubic system*）、四角晶系（*tetragonal system*）、六角晶系（*hexagonal system*）

、正交晶系（*orthorhombic system*）、單斜晶系（*monoclinic system*）、三斜晶系（*triclinic system*）。再考慮其他對稱要素又將之分為 32 種，對於構成結晶之單位以及其本質而無法加以分析。

但如應用 X 射線後，從其繞射性探究構成結晶之單位及其本質，所以 X 射線結晶分析對研究結晶之構造乃是一有力的方法。

結晶係由原子、離子或分子規則地排列於空間形成。如果組成結晶的原子或分子均以點表示，則由此等點可組成空間點陣（*space lattice*）。在空間點陣內取一點，通過此點向最近之格子點引三個向量 $\vec{a}$，$\vec{b}$，$\vec{c}$（見圖 12—64），以此三向量可作一平行六面體。如是可視該結晶係由很多如此平行六面體所組成，如此平行六面體稱為結晶之單位晶胞（*unit cell*），或單位晶格（*unit lattice*）。$\vec{a}$，$\vec{b}$，$\vec{c}$ 常稱為結晶的原向量（*primitive vectors*）。有些空間點陣亦可按由 8 個處在頂角的格子點，和一個體心格子點或面心格子點所組成的單位晶胞來分割。此種單位晶胞稱為複單位晶胞。圖 12—65 中之(*a*)示面心立方晶格（*face-centered cubic lattice*）的單位晶胞，

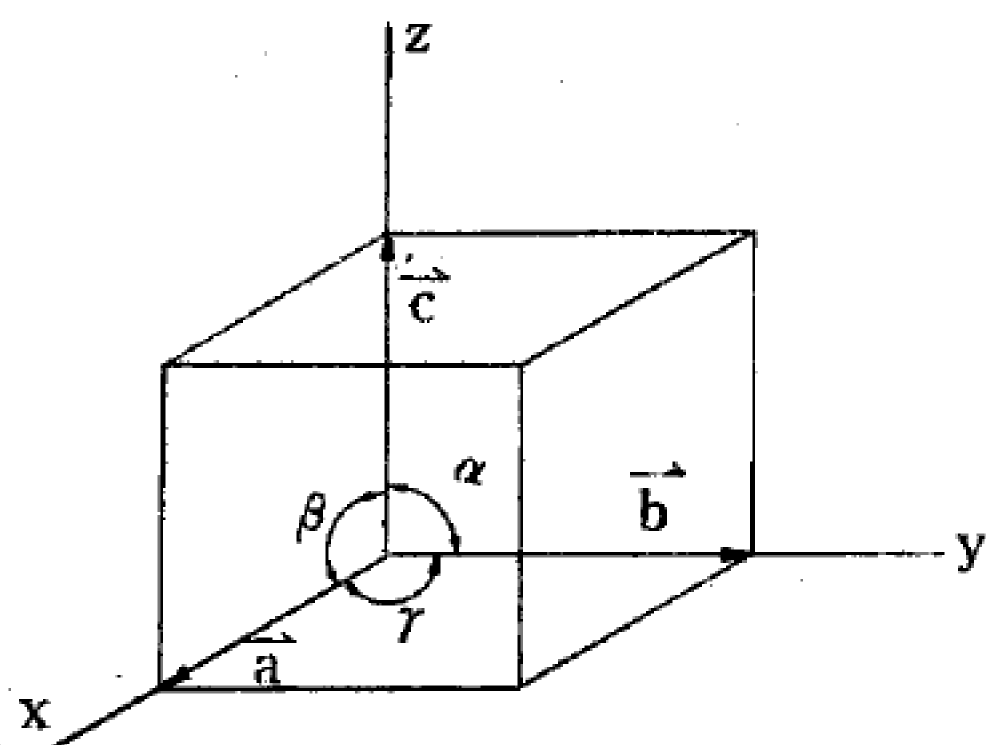


圖 12 — 64

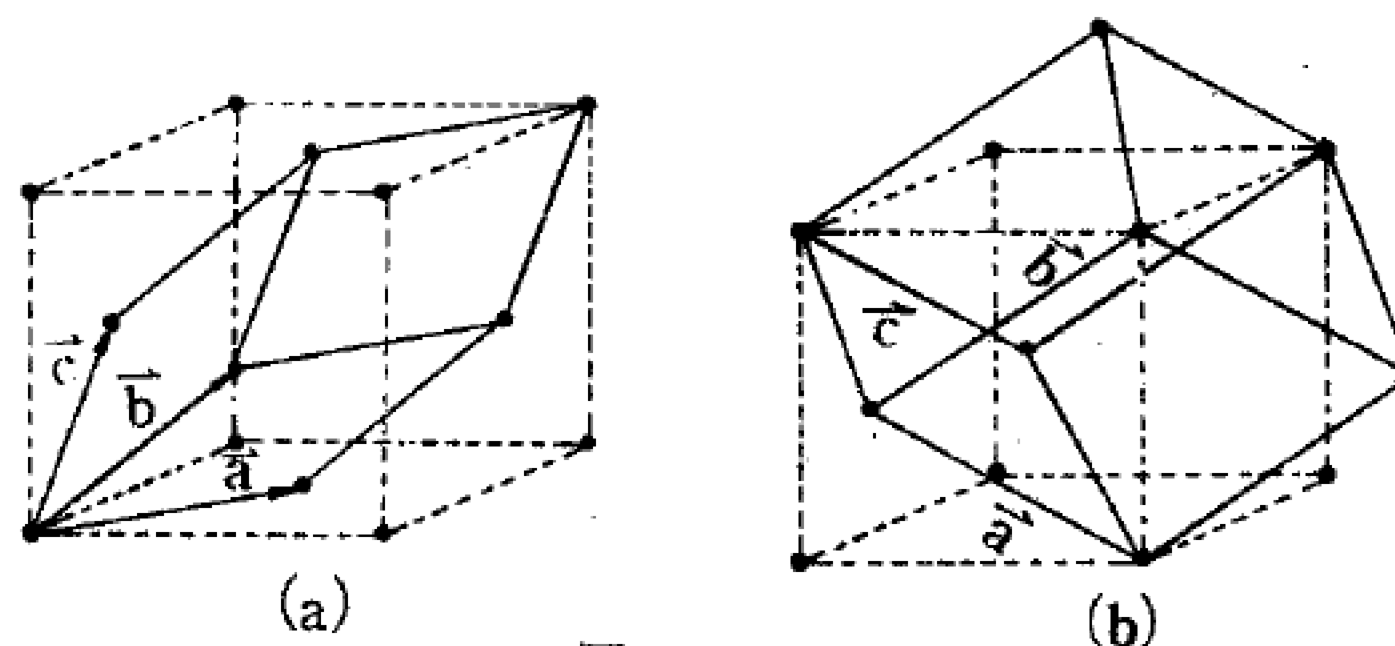


圖 12 — 65

白金、金、銀、銅、鋁等均屬此種結晶。(*b*)示體心立方晶格（*body-centered cubic lattice*），屬於此型的元素有鐵、鎢、鉬等，圖

中之實線係示該種空間點陣的眞單位晶胞，虛線係示複單位晶胞。就面心立方晶格言，其複單位晶胞內實際含有的原子數爲四個，而在其眞單位晶胞內僅含一個原子，故前者之體積爲後者之四倍。

如上述的單位晶胞及複單位晶胞合起來計有十四種，亦即空間點陣共有十四種，如下表：

晶　系	格子數	軸　率	軸　角	空間點陣
三斜晶系	1	$a:b:c$	α　β　γ	原晶格
單斜晶系	2	$a:b:c$	90°　β　90°	原晶格 底心晶格
正交晶系	4	$a:b:c$	90°90°90°	原晶格 底心晶格 體心晶格 面心晶格
六角晶系	1	$a:a:c$	90°90°120°	原晶格
菱形晶系	1	$a:a:a$	α　α　α	原晶格
四角晶系	2	$a:a:c$	90°90°90°	原晶格 體心晶格
立方晶系	3	$a:a:a$	90°90°90°	原晶格 體心晶格 面心晶格

晶體常用於光波繞射、折射或反射、干涉等實驗，所以我們在此討論一下光在晶體中的速度向量。光的速度向量，我們可以想像成一個光源在晶體的中心，瞬間放出一點光，在很短的時間內我們可以發現前面的光形成的面。若是立方晶體，如玻璃、空氣及眞空一樣，最前面光所形成的面（也就是速度向量面）是一個球形，故通稱立方晶體爲“光學各向同性”(*optically isotropic*)。其他晶體結構，如三角晶系、四角晶系及六角晶系都稱爲“光學各向異性”(*optically anisotropic*)。光在晶體中行進通常都會分成二個光，兩者極化的角度互相垂直，行

進的速度亦不同，也就是有兩種速度向量面。一個是圓的，如同在普通玻璃或立方晶體中的一樣，這種光線叫“尋常光線”(*ordinary ray*)。另外一個如旋轉橢圓形所形成的旋轉橢面，這種光線叫“非常光線”(*extra-ordinary ray*)。

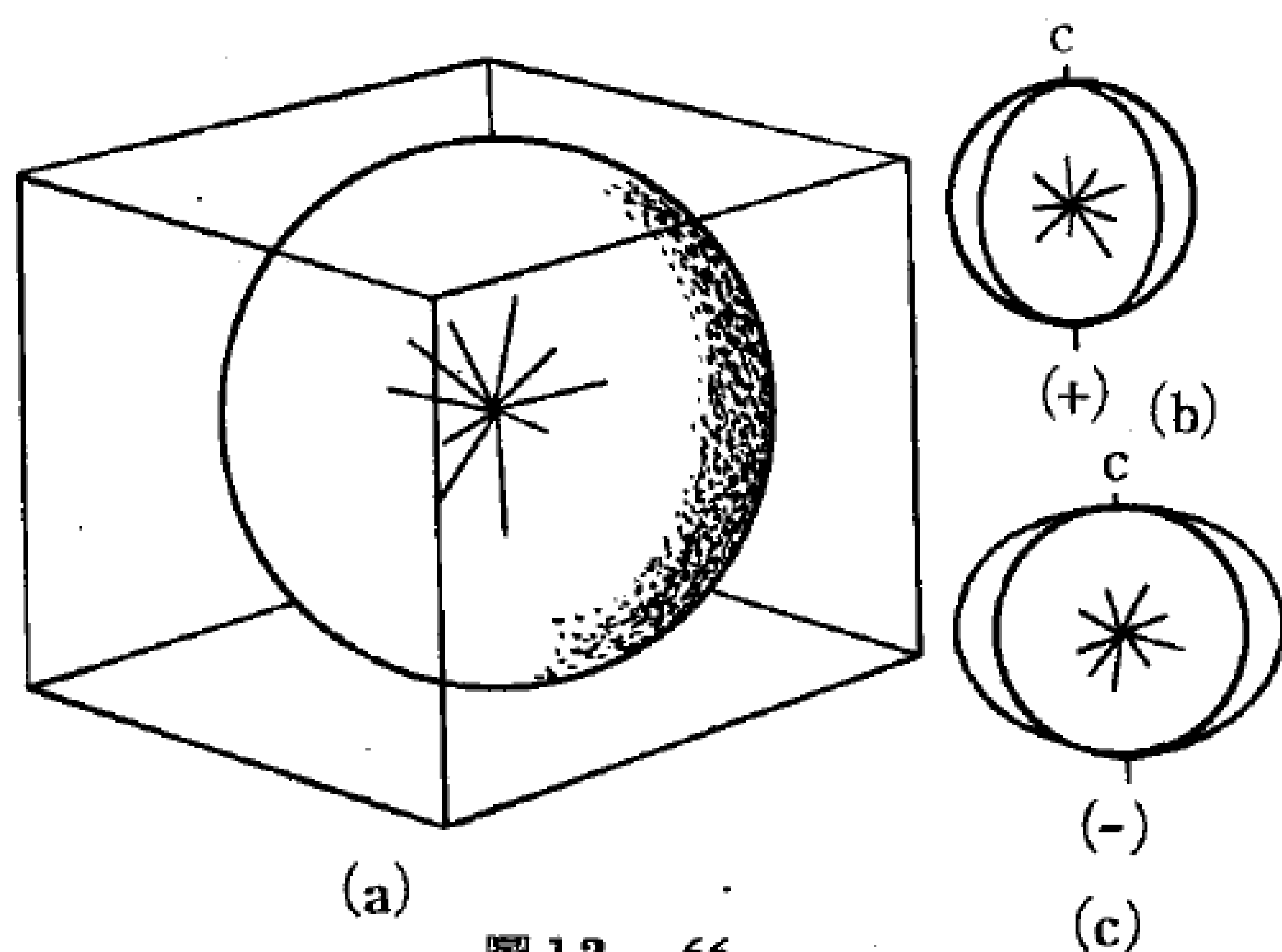


圖 12 — 66
(b)及(c)中的橢圓都經過誇張地描劃，強調它是個橢圓

尋常光線與非常光線的兩面之間只有兩個接觸點。這兩點在旋轉橢面的旋轉軸上。將這二球延著旋轉軸切下去就可變成如圖(*b*)或(*c*)；一個是“光正型”(*optically positive*)晶體所形成的，另外一個是“光負型”(*optically negative*)晶體所形成的圖形。

假如非常光線是“慢光”(*slow ray*)(與尋常光線比較而言)，如圖 12—66(*b*)所示，橢圓便包在圓球內。這種晶體叫做光正型。反之非常光線是“快光”(*fast ray*)，晶體便是光負型。

晶體在電學方面有不少用途，切成薄片的晶體，具壓電效應。若加以機械壓力時，在其表面即產生交變電壓；反之，如在其表面加入電壓時，晶體會產生機械振盪。若以交流電荷加於晶體時，晶體會產生機械膨脹與收縮，並產生交流電壓，此交流電壓的頻率決定於晶體片的厚薄，晶體片愈薄，頻率愈高，其頻率十分穩定，原因就是其*Q*值甚高，同時晶體片的溫度係數甚小。

【晶體二極體】(Crystal diode)

將晶體作一半為*P*型，一半為*N*型的接合，則可獲得一種與二極電子管(*diode*)有同等作用的晶體二極體。

【晶體三極管】(Crystal triode)

晶體三極管在晶體上有兩個接觸點的晶體放大器，兩個接觸點形成了輸入和輸出電路。就性能來說，與三極電子管甚為相似，所不同的是此處有兩個接觸點。

兩個接觸點通常由兩個排列很近的鎢絲觸鬚所組成，二者間的距離為千分之幾毫米。其中一個是輸入電極，叫做發射極；另一個是輸出電極，叫做集電極。晶體三極管中的第三電極是鍺晶體。在發射極上加1.5伏特的電壓和輸入信號，在集電極上則經過一個很大的串聯負載電阻(由10,000到100,000歐姆)加上50伏特左右的電壓。

鍺塊在外加電壓作用下，能使其“自由”電子的數量變化數百倍。當發射極上所加的是正電壓時，在與觸鬚接觸的晶體周圍形成一個電子含量加多的區域。如果有一電流從外部電源經過這個區域，則電流強度將隨著自由電子的數量而變化，因接觸點的電導率係以其周圍的自由電子的數量為轉移。若發射極上的外加電壓有所變動，則流經第二接觸點的電流強度亦將發生變化。這一切都與電子三極管中所發生的現象很相似：當電子管柵極上的電壓有所變動時，由外部電源所產生出的屏極電流也就發生變化。因此和電子管一樣，晶體三極管也能夠放大交流電壓，約可放大100倍，而不需要陰極加熱的能量消耗，從偏壓電池所取用的功率也不大於0.1瓦特。晶體三極管的尺寸極小，一隻手掌中便可放100個。然而由於鍺塊電導率變化的速度有限，同時又由於它的輸入電阻很小而輸出電阻很大，故這種管子只能用來作為較低頻率(不超過數個兆週)的放大。晶體三極管雖然有著這些限制，但在無線電工程中卻開闢了許多新的可能，有了它，可以裝配無燈收音機，甚至還可裝製電視接收機所用的視頻放大器。

【晶體片】(Quartz plate)

一塊水晶片，其本身的自然頻率與片的厚薄有關，片越厚頻率越低

。

【晶體之生成】(Growth of crystal)

因為半導體在化學純度及結晶的完美性上要求十分嚴格，因此能夠製成可供實用的這種晶體實為不易。

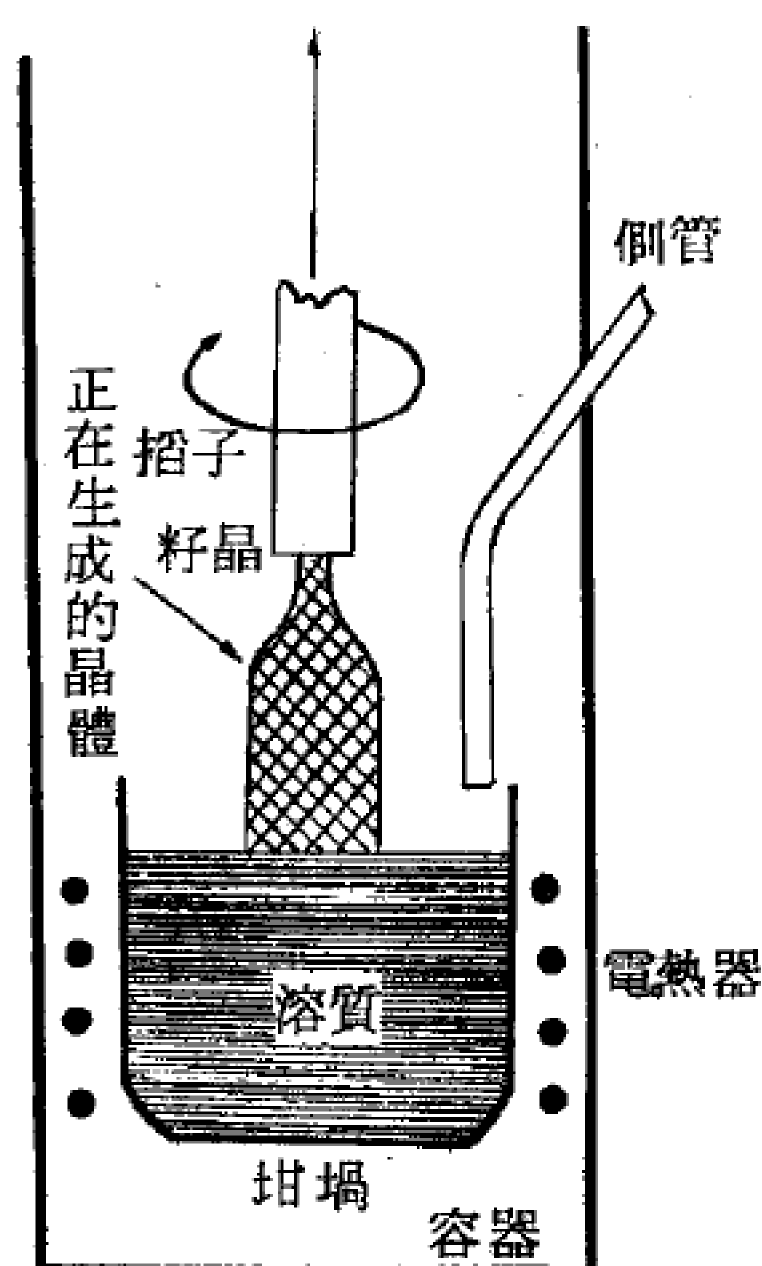


圖12—67　晶體拖製器略圖

一種較為廣泛使用的方法是利用圖12—67所示的器具，把晶體從溶質中慢慢拉出來。溶液的溫度用電熱器保持，使其僅高於熔點。為了使生成過程能夠發生，把一小塊籽晶（*seed crystal*）裝置於一個金屬掐子內，然後泡浸於溶液中。因為籽晶的溫度較低，溶液就在這一點晶體上開始冷卻。這時把掐子慢慢自溶液中拉上來。向上拉的速率，恰使物質固態與液態的交面與溶液面相重合。

實際操作時，在晶體生成過程中，常常要轉動籽晶以攪拌溶液。通常說來，這整具裝置都是裝在一具高度眞空或充滿惰性氣體的容器內，以減少晶體被大氣沾污的情形。利用這種技術，可以用每分鐘一吋的速率，來製造直徑一至二吋的單晶體。只要容器夠長，便能夠製出任意長度的單晶體。也能依據溶液的化學成分不同，而製出*N*型或*P*型晶體；事實上，只要在適當的時間，自側管中加入所需的雜質，就能任意製出*P*型或*N*型晶體。

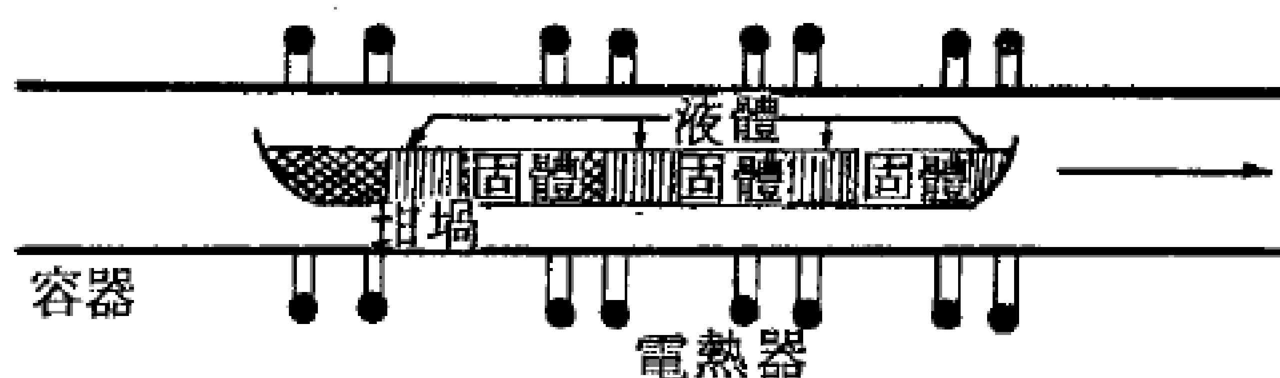


圖12—68　晶帶精煉器略圖

圖12—68所示的晶帶精煉法（*zone-refining*）是另一種十分有用的除去半導體中雜質的方法。在一長條複晶體的許多事先選定之小區間加熱，就可以使晶帶熔融。若移動置於加熱器上的坩堝，則熔融部分會自一端

向另一端移動。晶體中的雜質這時就會向液態區域集中，而移到晶體的另一端。把尾端的一段拋棄，就可得精煉的晶體。經過多次的這種精煉法，可得到純度極高的晶體，然後把如此得到的晶體當作籽晶，再用拖製法（第一種方法）提煉單晶體。

利用晶帶精煉器也可製出單晶體。在全棒用晶帶精煉法提煉過之後，在一端裝一點籽晶，並在離籽晶稍遠的地方加熱，以使晶體熔融。這樣做的目的，是避免把籽晶給熔掉。這時把熔融區域移近籽晶所在地，並加熱直至籽晶開始變潮時為止。然後把熔融區域移向另一端，當可使晶體冷凝。於是晶體的原子會依照籽晶的原子排列法排列下去而製出大塊單晶體。

若熔融區域雜質含量較高，則精煉時移走的雜質，將與留在晶體內的含量同樣多，而把不純的複晶體製成只含一種雜質，且分佈均勻的N型或P型單晶體。改良的晶帶精煉法之一是浮動晶帶（*floating-zone*）精煉法。即在兩垂直掐子之間，夾一棒狀複晶體，然後加熱熔融。由於表面張力的緣故而把熔融晶體維持於兩段固體之間。這時若把熔融區域由一端移至他端，就可得到精煉過的半導體。這種方法因為把晶體本身作為容器，便可避免坩堝沾污晶體的可能性，而得純度極高的單晶體。當需要高純度晶體，或晶體被坩堝沾污後將導致不良後果的情形下，多使用這種方法。

【晶體分光計】（Crystal spectrometer）

用來觀察X射線之布勒格散射實驗設備，稱為晶體分光計。其設計圖如圖 12—69所示，左端之管所產生的X射線，經由鉛塊上之狹縫使之平行，然後由晶體繞射。被

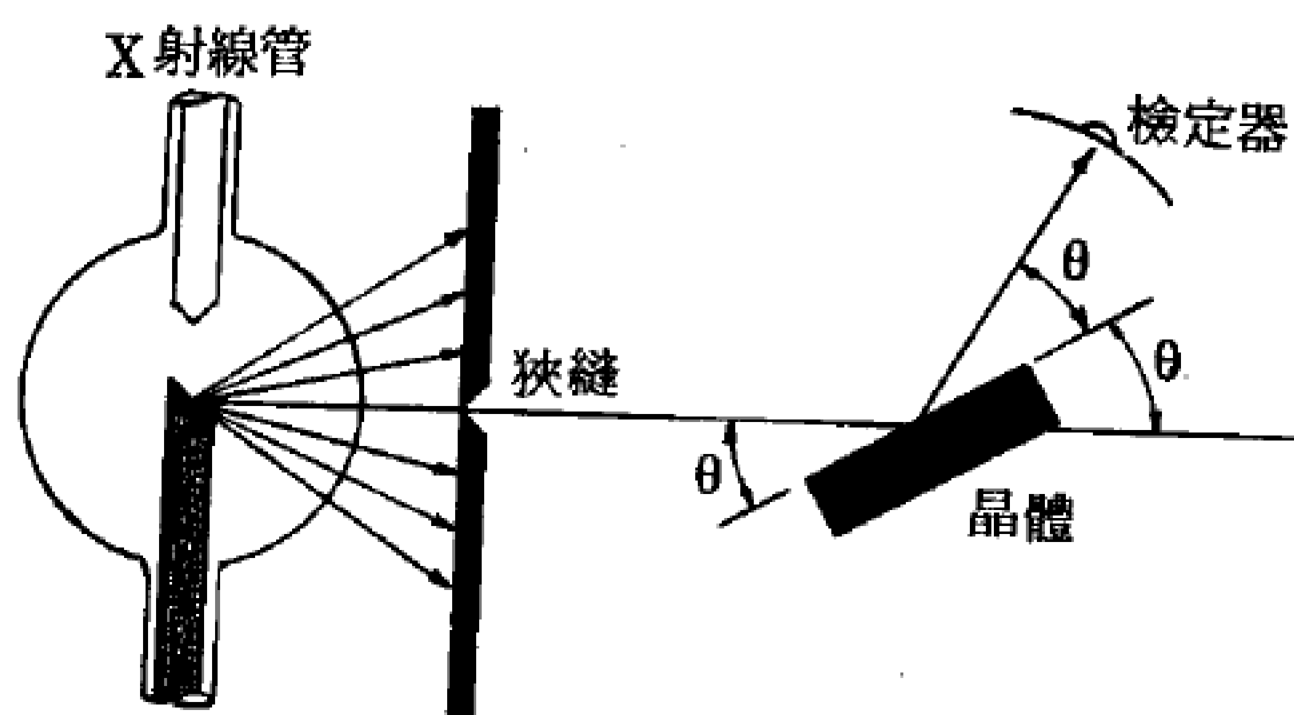


圖 12 — 69　X射線繞射之晶體分光計

繞射之 X 射線藉一可移動的檢定器觀測之，此檢定器通常爲一離子室。

【晶體收音機】(Crystal receiver)

礦物中如方鉛礦、紅鋅礦、黃鐵礦等的自然晶體是天然的半導體，均具有單方向導電的特性，因此可用作檢波元件。晶體收音機即利用這些自然晶體，再加上天地線、調諧電路以及耳機等所製成的收音機，是無線電接收機中構造最簡單者。必須具有下列四種配件：

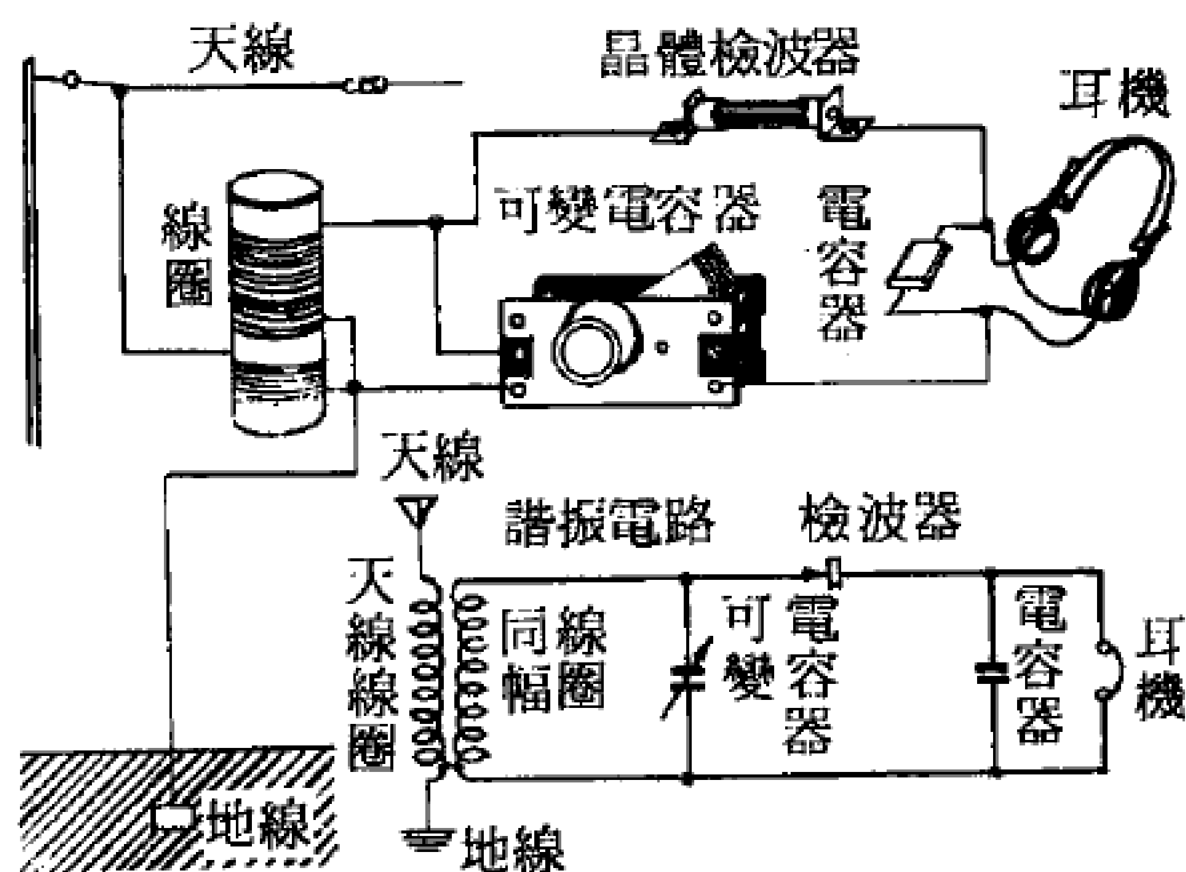


圖 12 — 70　晶體收音機

1. 天線與接地的電路——接收廣播出來的電波。

2. 諧振電路——由線圈與可變電容器構成，選擇所想要收聽的電波。

3. 晶體檢波器——把諧振電路的高週波電流變成聲音電流。

4. 耳機——把聲音電流變成聲音。

此種收音機的靈敏度很低，輸出音量也小，多用作收聽近地廣播之用。

【晶體光軸】(Optic axis of crystal)

在雙折射晶體中，尋常光線與非常光線不再生雙折射時進行的方向。單軸晶體只有一光軸，雙軸晶體則有兩光軸。

【晶體光學】(Crystal optics)

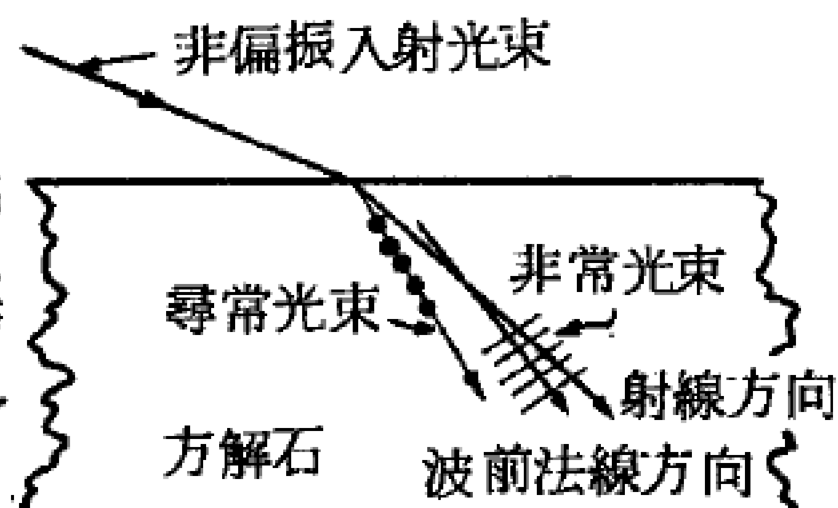


圖 12 — 71
晶體光學六項基本事實的圖解

假設此結晶爲方解石，其光軸平行紙面，圖 12—71 說明了晶體光學的六項基本事實(1)兩條折射光束，尋常光束與非常光束。(2)非常光束的兩種方向，波前法線方向與射線方向。(3)尋常光束與非常光束的速度不等。(4)尋常光束與非常光速的傳播方向不同。(5)二光束都是完

全偏振。(6)交叉線與圓點代表二光束的偏振形式相反。茲詳述如下：

【Ⅰ】兩條不變的折射光

入射光不論是偏振光或非偏振光，不管任何型式的偏振光，在方解石晶體內的兩條折射光恆有固定的兩個傳播方向、固定的兩個傳播速度、固定的兩種偏振型式。用光子模型來說，當任何種類的光子進入結晶之後，結晶強迫每個入射光子在兩條“出路”中選擇一條，(1)第一種固定速度、方向及偏振型式。(2)第二種固定速度、方向及偏振型式，沒有第三個選擇餘地，只要入射光的方向不變，結晶便堅決固執這唯有的兩種選擇，這就是雙折射光的不變性。各種入射光所產生的雙折射光雖然強度和相位關係不盡相同，但是兩條折射光的電場振動方向是永遠不變的。

【Ⅱ】能量的斜向傳播

光在眞空中傳播時能量傳播方向剛好垂直光波的波前，在空氣、水、玻璃或其他無向性介質中都有相同情形；所謂無向性介質就是對光的效應與方向無關的物質。然而在有向性介質，如方解石中傳播情形就大不相同了，如圖12—72，能量傳播方向即射線方向通常與波前法線方向並不一致，爲了計算方便，光學習慣上只處理沿波前法線方向的傳播速度，即法線速度。假如眞正的能量傳播速度是V_r，而射線方向與波前線方向的夾角是A，則法線速度便定義爲$V_r\cos A$。

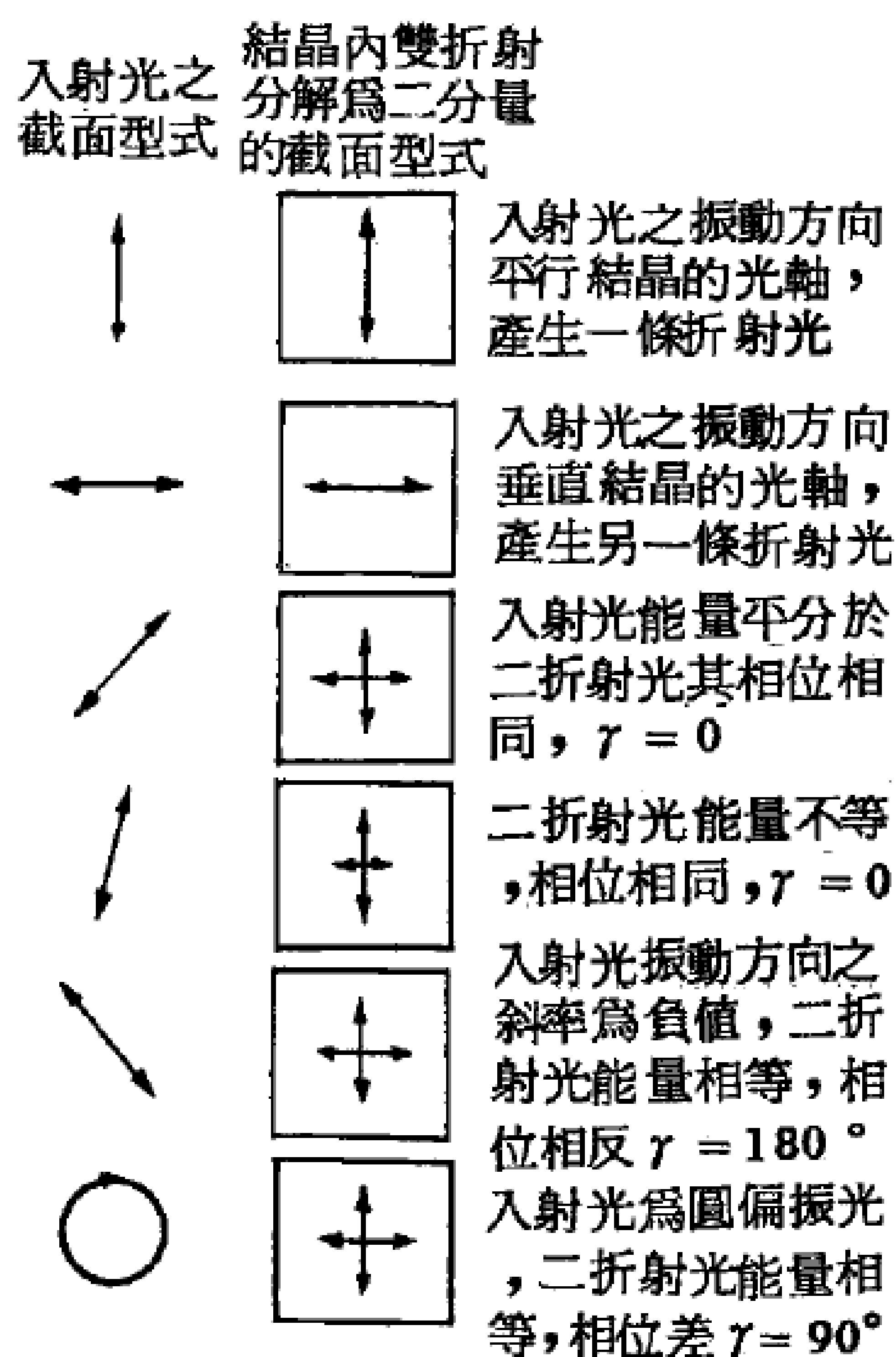


圖12—72

方解石對各種型式之偏極振光的雙折射效應。入射光正對結晶與觀察者前進，結晶的光軸在垂直方向，注意折射光只有兩種固定的偏振型式，所不同的只是相對的相位與能量分配而已

【Ⅲ】不同速率的傳播

1. 兩條折射光的法線速度，視光波的振動方向而定，與波前法線方向或折射線方向無關。換句話說，不同振動方向的折射光必有不同的法線速度，通過晶體內同一路徑的兩條折射光也因此未必有相同的法線速度。而法線速度的決定關鍵在於光波的振動方向。方解石內通過完全同一路徑的光波速度卻不相等，假如光是縱波，那就沒有任何因素可解釋這個現象了，因此雙折射對光的橫波是個有力的證據。

2. 在單軸晶體中之二折射光束有一條速度是固定不變的。例如在方解石中以5,893埃波長的黃色光做實驗，不論入射角或偏振型式如何，必有一條折射光的速度恆等於 1.808×10^8 米/秒，此折射光命名爲尋常光線，另一條折射光的速度則介於 1.808×10^8 和 2.017×10^8 米/秒之間，因電場振動方向的不同而異，此光束稱爲非常光線。

雙折射的決定因素除了速度以外，習慣上經常用折射率表示，折射率的定義是眞空中光速與介質中光速的比值。在單軸晶體中有兩個主折射率，一個是尋常光線折射率，也叫大主折射率，用 ω 表示，是眞空中光速與晶體中尋常光法線速度之比，對黃光而言就是（2.998×10^8 米/秒）/（1.808×10^8 米/秒），即等於1.658；另一個是非常光線折射率，爲眞空中光速與非常光法線速度之比，對黃光其價值介於1.658與1.486之間，視非常光之振動方向而定，其最小值就定義爲小主折射率，用 ϵ 表示。

ϵ 和 ω（或 n_O，n_E）兩個主折射率是雙折射起偏器設計上的關鍵因子，二主折射率之差稱爲雙折射率差，用符號 J 或 Δn 表示。方解石 $J = |\epsilon - \omega| = |1.486 - 1.658| = 0.172$，雙折射率差相當大是其優點，因爲 ϵ 小於 ω，方解石又是一種負晶體，其他自然界中存在可用的透明晶體都沒有如此大的雙折射率差，雖然硝酸鈉結晶其值可達 $|1.336 - 1.587| = 0.251$，但是不呈大晶體存在，必須以人工製

造，有些紅外線儀器專用的特製晶體還可有更高的雙折射率差值。

【Ⅳ】不同的傳播方向

通常二折射光束各具有不同的波前法線方向。然而在某種條件下二者是相同的，即當入射光束恰好垂直於晶體的正面時，二種折射光束的波前法線方向垂直於此平面，因而便彼此平行了。在這種情況下，二者的法線速率（*normal speed*）與射線方向（*ray-direction*）仍有差異。

但將之儘可能簡化後，便產生一種很特殊的結果：可使波前法線方向相同，法線速率相同，同時射線方向也相同。具體而言，就是適當地選擇晶體正面，使得垂直入射光束所造成的效果與它通過普通玻璃者沒有什麼區別，即不產生二個折射光線。此一特殊的光束入射方向（或是相反的方向）稱爲光軸（*optic axis*）。在方解石中，要找出光軸是很困難的。自然存在的方解石晶體找不出如此的正面，所以需要再經過彫琢與磨光後才可獲致。方解石因僅有一光軸，所以稱之爲單軸（*uni-axial*）。石英也是單軸，然而它的 $\epsilon > \omega$，所以是一種正晶體。有些晶體具有兩個光軸，稱爲雙軸（*biaxial*）。

尋常光線在單軸晶體中，所以具有相同的法線速率，乃是因爲光線的振動方向永遠垂直於光軸。至於非常光線情況便不同了，振動的方向可能平行、垂直或傾斜於光軸，取決於所選擇晶體的正面與入射光線的角度；當振動方向正好垂直於光軸時，它的法線速率到達極限，也就是說，在方解石中有最大的速率，而在石英中卻是最小。

【Ⅴ】完全的偏振

二種折射光束是百分之百的偏振。在良好的方解石中，各折射線都是線偏振至百分之九十九點九九九或是更多一點，那一點微小的差異可能是由於度量技術的不完全而引起，並不是起因於晶體本身所引起。將光束做如此純粹的分解，這種超然的能力，實非晶體莫屬。

【Ⅵ】正交偏振型式

晶體能使入射光束分解成兩種不變的偏振型式，這兩種型式間彼此有正交性（*orthogonality*），否則將違反熱力學第二定律。一如其他具有能量的系統，光束也具有熵值（*entropy value*），因而，透過晶體的非偏振光束（完全不規則系統）被分成兩種相似或幾近相似的偏振光束後（稍有規則的系統），如果二者都經由同一路徑，則勢必違反熵值遞增定律。

如果自光子與量子化（*quantization*）的觀點著手，則後兩項事實的成立是無庸置疑的。量子化具有它絕對的範疇與對偶性（*antithesis*）。所以，二種折射光束，就偏振度而言是十分明確的，而就偏振型式而言，也同時具有理想的對偶性（即正交性）。

【晶體坐標軸】（Crystal axes）

理想的晶體是由於晶格上的原子所構成，晶格是由三個基本位移向量所構成，此三基本位移向量$\vec{a}$、$\vec{b}$和$\vec{c}$的選擇必須為：

$$\vec{\gamma}' = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c} + \vec{\gamma}$$

式中n_1、n_2和n_3都是整數。在$\vec{\gamma}'$處所觀察到的晶體原子排列與$\vec{\gamma}$處所觀察到的排列相同，由此三個基本位移向量的方向所構成的坐標軸稱為晶體坐標軸，在各坐標軸上的單位長度也不盡相同，各為$|\vec{a}|$、$|\vec{b}|$和$|\vec{c}|$。有了晶體坐標軸，可以簡化許多固態物理上的討論及便利以後的推廣。

$\vec{a}$、$\vec{b}$和$\vec{c}$長度的選擇有許多種方法，通常採用其最短者，以使$\vec{a}$、$\vec{b}$和$\vec{c}$所構成的晶格為初基點陣。

【晶體和非晶體】（Crystal and amorphism）

固態物質的結構有規則形狀和不規則形狀兩種區別。樟腦、膽礬、雲母、明礬、糖和食鹽等，它們的外表都呈現有規則的平面所圍成一定形狀，而且平面與平面間的交角亦有一定的規則，糖粒外表就很顯明是

如此的。但有些顆粒極爲微細，不是肉眼可以看出來的，如冰、鉛、銅等的微小顆粒需用精密儀器來放大鑑定。凡是具有這種規則形狀的結構的固體，稱爲晶體。

現在已知大多數的固體都是晶體，少數固體如玻璃、塑膠、瀝青、蠟等物則是非晶體。

【晶體拾音器】(Crystal pick- up)

有些特殊的晶體在受到壓力或機械震動時，晶體的表面就發生荷電的現象。晶體拾音器就是利用唱針在唱片槽紋中的擺動來振動晶體的。晶體拾音器的構造如圖 12—73所示。唱針的擺動由傳動桿來振動晶體。晶體末端的橡皮有固定的作用。

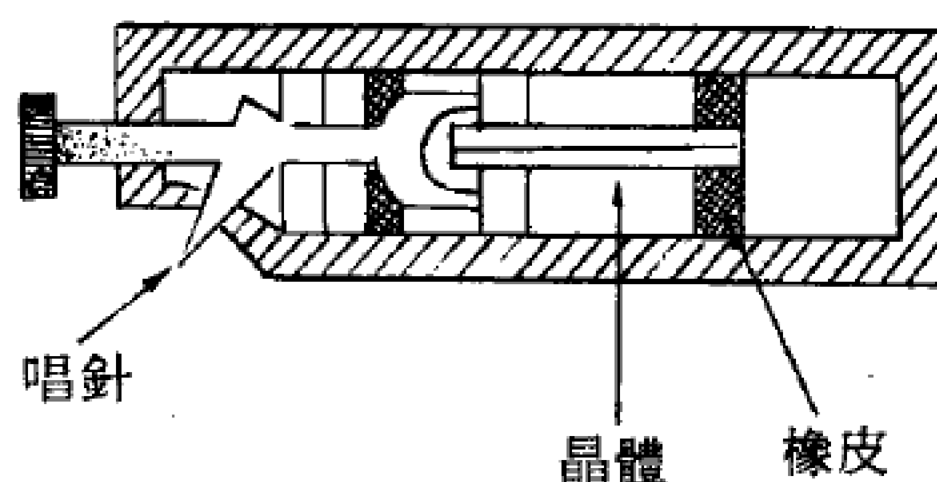


圖 12—73 晶體拾音器的構造

因爲機械上的關係，晶體拾音器的音週響應較不平穩。其輸出與晶體式傳聲器相反。在 400～500赫兹左右，輸出較高；高音週的響應反而低。因此晶體拾音器的輸出電路上，常用平衡的方法(如以電阻器及電容器組成RC 的電路)，用來衰減低音週，使響應平衡。

晶體拾音器的輸出總阻很高，輸出水準約在－35～－50 分貝(db)左右。其優點是體積小巧輕便，不像電磁式拾音器那樣沉重，對於唱片槽紋的損耗率比較低。其缺點是受到過高的溫度或潮氣的侵入後，就會軟化，甚至熔解而失效，且一經失效，就無法修理。

【晶體計數器】(Crystal counter)

金剛石或硫化鎘(CdS) 之晶體，平常雖爲一甚佳之絕緣體，但當高速質點(例如電子或質子等)或γ 射線光子撞入時，由於可逼使其滿帶中的部分電子進入傳導帶，即能導電。此時，若加以

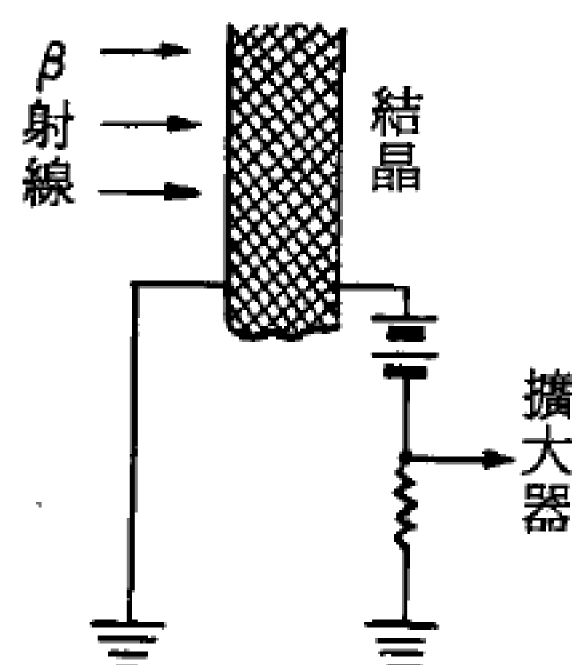


圖 12 — 74

電場，因爲電子的移動，放大器電路會生電壓脈搏，故藉此裝置亦可觀測放射線質點，此種設備稱爲晶體計數器，如圖 12—74 。由於此種計數器之復原時間甚短，故此種計數器尤便於計數高速質點。

【晶體格子】(Crystal lattice)

在許多固體中，原子（或分子）並不以個體單獨存在；它們的性質都會受到附近原子的影響。固體最重要的特性之一，就是其原子或原子群有其一定排列秩序；這就是說，固體的結構有著一定的規律和空間而形成一種晶體格子。有些固體中形成結晶格子的基本單位就是分子本身。例如圖 12—75 顯示冰塊的結構。有時候，這些格子是由離子所組成，如圖 12—76 所示之氯化鈉（ *NaCl* ）及氯化銫（ *CsCl* ）。由一種原子所組成的固體中，它的格子的成分就是原子本身。圖 12—77 和 12—78 爲金剛石及石墨(*graphite*)的格子，其成分就是碳原子。

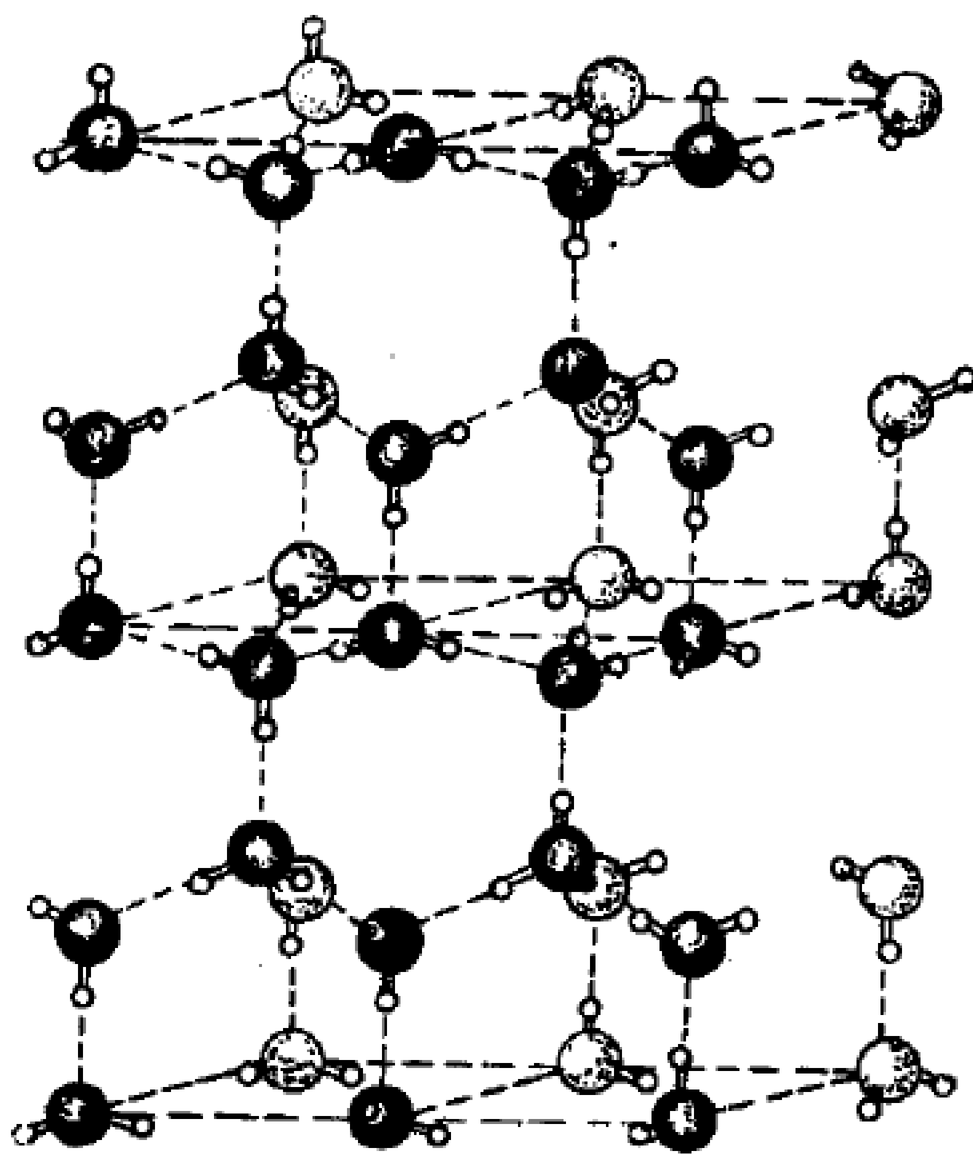
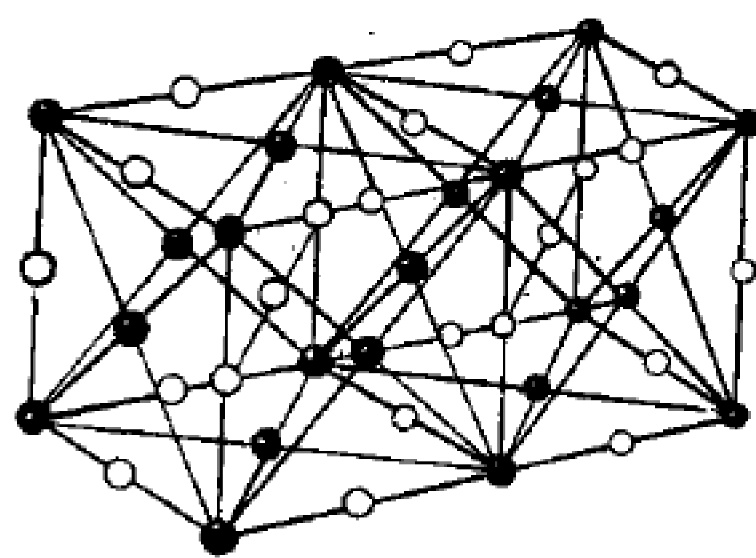
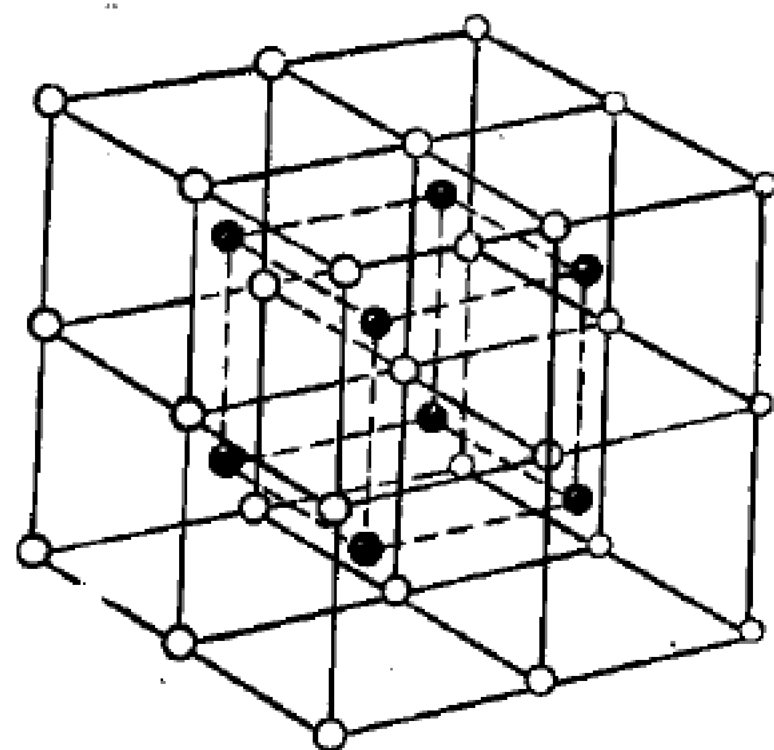


圖 12 — 75　水分子在冰塊中的排列



(a) 氯化鈉



(b) 氯化銫

圖 12 — 76

形成晶格的小單位的性質和其幾何排列直接影響到固體的物理性質。有些固體的物質，它的原子或分子則並不這樣有規則地排列，如玻璃。這種固體就稱

爲非晶體物質（*amorphous substances*），它們的物理性質大不同於眞正的固體的性質。

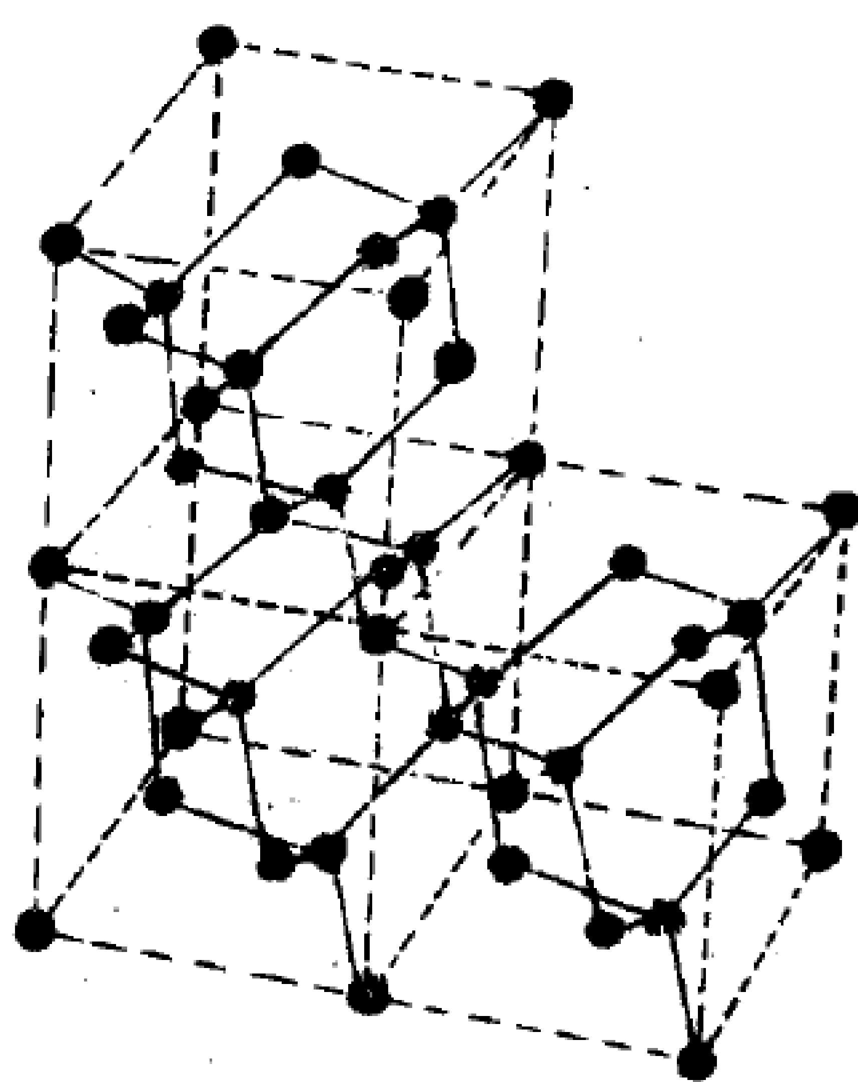


圖 12－77　金剛石格子

【晶體格子常數之測定】（Determination of lattice parameters）

所謂晶體之格子常數，即用來敍述晶體內其單位晶胞（*unit cell*）形狀大小之常數。此常數就表明該晶體所有原子之空間排列狀況。此可由德拜、叶若照相機（*Debye-Scherrer camera*）所得之圖案，量測其繞射角，由布氏定律算出 *d*，再藉助格子常數與 *d* 之關係式而求得正確之格子常數值。格子常數之準確性需靠繞射角之精確測量。格子常數量得越準，晶體內原子與原子間之距離就被測得越準。

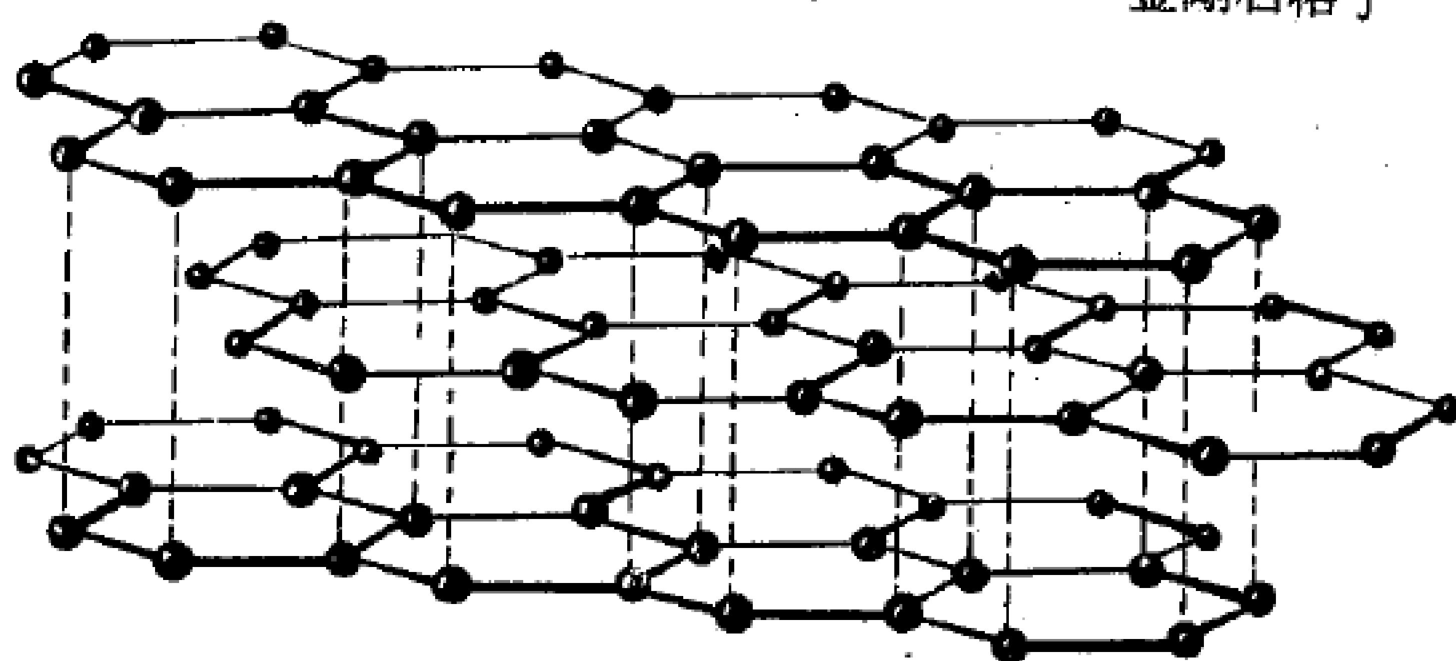
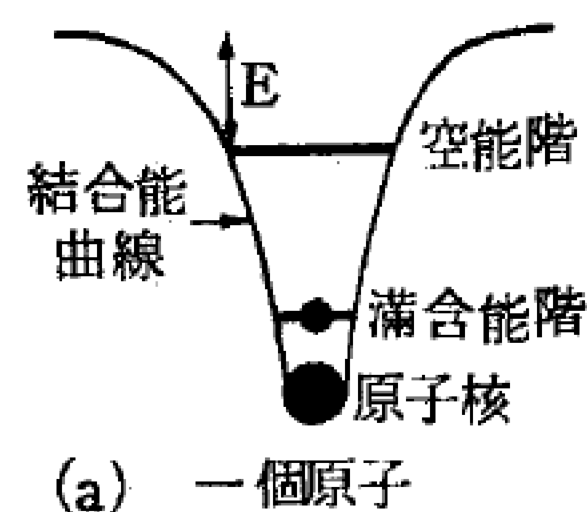


圖 12－78　石墨格子

【晶體能帶模型】（Crystal energy band model）

電子在原子中有一種特性，就是它們所具的能量，必須是某些定值時才穩定。圖 12－79(*a*)的水平線表示原子的不同能量區域（*energy zone*）。這些水平線（代表能階）表示在接近原子核的區域中，那些電子的能態（*energy state*）是穩定的。曲線代表電子在原子中的結合能（*binding energy*），這種圖形通稱能階圖（*energy level diagram*），它在原子物理及固態物理學中研究電子性質方面用途極大。

因原子而異，臨近原子核的能階，可以具有一個或多個電子。但電子具有另一種特性，那就是一個固定的能階所能具有的電子數是一定的。氫原子有一個電子，在正常狀況下，它多停留在最低的能階中，氦原子有兩個電子，全在最低的能階中。但在有三個電子的鋰原子，其中一個電子必須停留在次高的能階中。這是因爲最低的能階中至多只能含有兩個電子，於是第三個電子就被排斥。第二個能階中最多可以有八個電子，愈高的能階，所能具有的電子數就愈多。任何原子中，電子均依各能階所能容納的數量而儘先佔據最低的能階。較高的能階中，則沒有電子存在。若受到外力的影響，原子中會有一個或數個電子，從最低的能態被推送到較高的能態去，這時我們就稱這個原子是在受激態(*excited state*)。12—79(*a*)能階圖中的黑點表示在某一被佔能階中的電子。



(a) 一個原子

當許多原子互相接近而形成一種固體或晶體時，相鄰原子的外層電子間就有一種相互作用而使原子聚合在一起。這些外層電子的相互作用極強，而使原子能階產生激烈變化。我們可以利用適用於固體的能階圖來解釋這種情形。圖12—79(*b*)表示兩個原子互相接近時的情況。因爲原子的最外層電子，同時受到兩個原子核的吸引，所以把臨近某一個原子核的電子移到另一個原子核的附近時，所需的能量來得少些；這也就是說，一個外層電子座落在這兩個原子核附近的可能性相同。因此，合宜的能階圖在每一原子核附近均有兩個能階。同樣地，較高的空能階(*empty energy level*)也一分爲二。表示在這些能階中也能有兩個電子存在。若有三

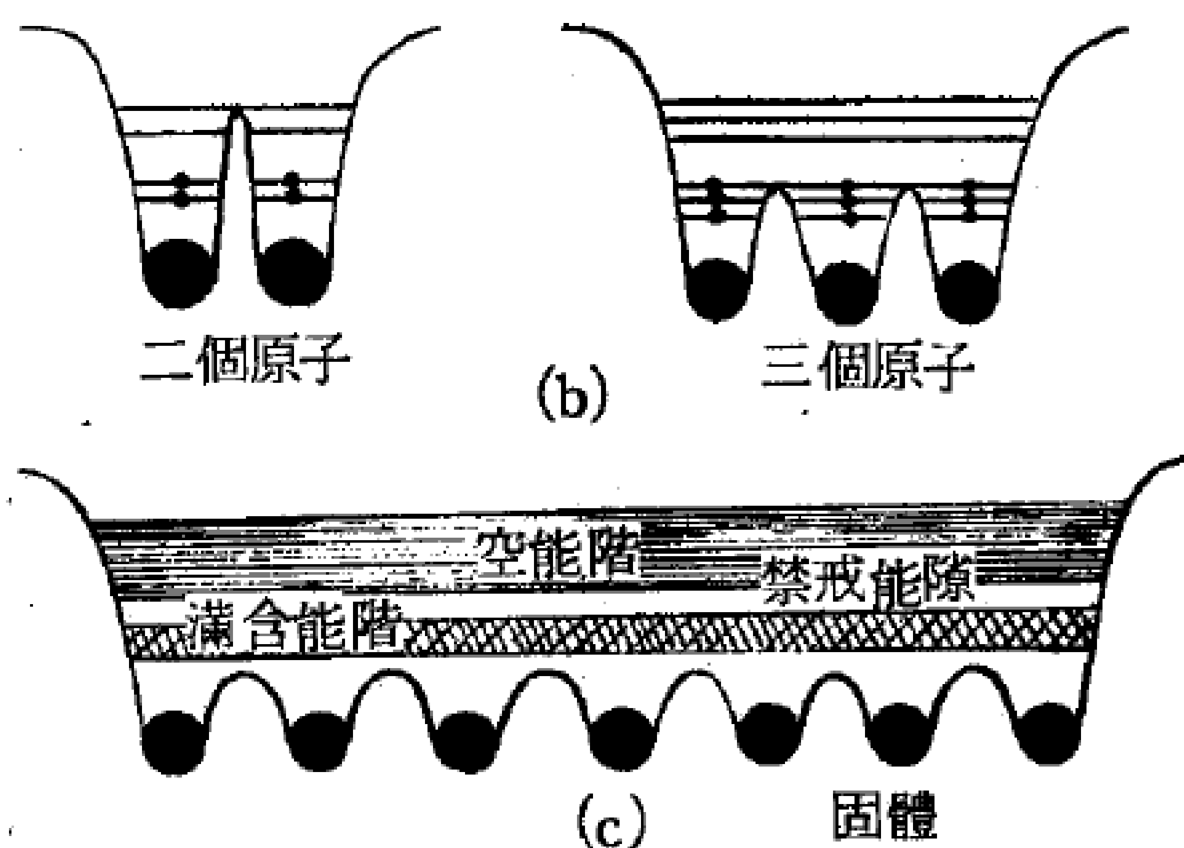


圖12—79　指示晶體能帶模型來源的能階圖

個原子互相接近時，每一個外層電子，都能被三個原子核中的任何一個所吸引，而連貫在一起，因此有三個能階存在，見圖12—79(*b*)。

原子的體積非常小，即使一塊極小的固體微粒，也含有數十、百億個原子，因此每一個原子核都連帶的具有許多能階。此外，由於電子間的相互作用，把一個電子移到另一個原子核的附近所需要的能量大爲減低，因此在事實上根本不需要額外能量，電子就能夠在原子之間游動。所以在晶體內，能階便成爲連續的。這些全表示在圖12—79(*c*)的晶體能階圖中，能階成爲連續狀態而形成能量帶（要把這億萬個能階，一個一個的分別表示出來是不可能的）。因爲每一個最低可用能階中都含有一個電子，所以最低的能帶中全爲電子所充滿。較高的能量帶，則正如原子中的空能階一樣，而成空能量帶。這兩個能量帶之間的區域，因爲晶體中的電子不能具有這種能量，而被稱爲禁戒能隙（*forbidden energy gap*），若把圖12—79(*a*)、(*b*)、(*c*)作一比較，我們就會發現，禁戒能隙與單一原子內兩個可用能階間的區域相對應。

這種晶體能帶模型的重要性，在於能夠明確指示出電子如何在固體中運動，以及固體如何導電。一旦知道了某一晶體的能帶模型，那麼它的大部分電性質就可一目瞭然。以上所說的不過是晶體能帶模型的一般性質及狀況而已，詳細情況仍有賴於構成晶體的是何種原子及如何構成而定。因爲原子的能階狀況決定那一些能帶是充滿的，那一些是空的，而能帶的寬度，原子外電子的相互作用等卻由原子的排列狀況（即晶體構造）而定，由此可見其重要性。

【晶體校準器】（Crystal calibrator）

一種測試儀器，是一個產生固定頻率振盪的帶壓電石英的電子管振盪器。所以晶體校準器所生振盪的頻率及振盪的諧波頻率都是已經準確地知道。晶體校準器用來在波段內的某些點上校驗無線電接收機與發射機的調諧。

【晶體振盪器】(Crystal oscillator)

使射頻振盪器振動頻率能夠穩定的最佳辦法，就是利用石英晶體。此種振盪器的振動頻率，完全被晶體所控制。

振動頻率的控制，是以晶體的壓電效應 (*piezo-electric effect*) 爲基礎。此晶體在其某個方向受到拉力或壓力後，晶體受力的垂直表面上就有電荷呈現。相反，此種晶體如果放在具有電位差的兩金屬板間時，晶體也會膨脹或收縮。

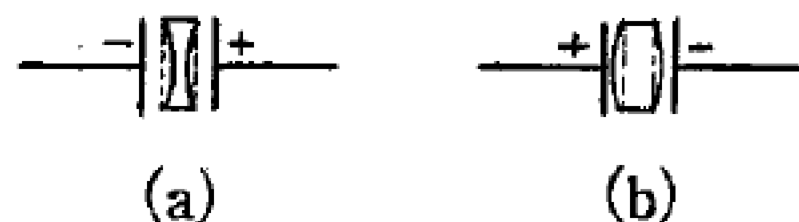


圖 12 — 80　晶體的膨脹及收縮

如果一片晶體的橫寬方向受到壓力或縱長方向受到拉力後，晶體的中間部分就下陷 (如圖 12—80(*a*))，同時電荷在受力作用的表面出現，並且產生一電位差。如晶體在其長度方向受壓力，其腹部的寬度增加 (如圖 12—80(*b*))，其表面所呈現的電荷極性則相反。如果長度方向交替受壓力及拉力，晶體片就變成了一個交流電壓電源。反過來說，一交流電壓加在晶體表面，此晶體就發生機械振動。如果加在晶體上交流電壓的頻率等於晶體的自然振動頻率，其振動幅度就非常大，並且所有的機械損失都能得到補償，因此晶體的自然頻率振盪就能維持下去，成爲固定振動頻率。所以一個晶體可以完全代替電子管振盪器中的調諧槽路。

所有的晶體都顯示有壓電效應，但僅有少數幾種晶體，適合於代替電子管振盪器中控制頻率的振盪槽路。關於這幾種合用的晶體，包括石英、若歇耳鹽 (*Rochelle salt*) 及電氣石 (*tourmaline*)。若歇耳鹽是最好的壓電材料，當此材料受到一機械作用力時，產生的電壓最大。此種鹽，從電能所產生的機械振動並不穩定，所以不適用於控制振盪器的振動頻率，但多應用於傳聲器 (*microphone*) 及留聲機的拾音器 (*phonograph pick-up*) 中。雖然石英的壓電效應較若歇耳鹽差，但石英較便宜，且受熱後的膨脹甚微。同時石英非常的硬，不易生化學變化。

大多數的晶體，至少都有兩種主要的振動方式。一為在其寬度方向，發生膨脹及收縮（如圖 12—80），同時當其寬度方向受力後，在其長度方向也會發生膨脹及收縮，此種方式稱為厚振動（*thickness vibration*），當垂直於其寬度方向之表面因收縮及膨脹，所產生之壓力波，在晶體內由一表面傳至另一表面，再反射回原來的表面，又反射回去。在一適當的晶體厚度，反射波與新產生的壓力波同相，互相增強，結果在兩表面間形成一駐波（*standing wave*）。在此情形下，自然頻率振動產生。並且兩表面間的距離至少等於一波長。某些晶體的表面距離卻可能等於兩波長或三波長等。由頻率是波長的倒數關係知，晶體也能以基本頻率的二次諧波頻率及三次諧波頻率及更高的諧波頻率振動。但對一已知厚度之晶體，此種振動方式的基本頻率都是一定的。

第二種主要的振動方式（垂直於長度面之兩表面產生收縮及膨脹）取決於晶體的寬度為寬振動（*width vibration*）。與第一種方式一樣，在自然頻率時，晶體內產生駐波，同時基本波之各次諧波都有出現的可能，但其基本自然頻率則由晶體的寬度決定。除了以上兩種主要產生振動的方式外，另有彎曲式及扭曲式所產生的振動。應用在商業無線電的石英晶體，其頻率範圍由 50 仟赫高至 50 兆赫。

當晶體放入晶體架上後，即成為一實際的電路另件。在晶體架（見圖 12—81(*a*)）上，晶體放在由兩金屬極板所構成的電容器之間，晶體本身則成為此電容器的介質。晶體架需調整適當，使加給晶體振盪的阻滯盡量的小，同時晶體架又需適當的夾住晶體，以免鬆動。晶體裝設的方法各有不同，有的晶體

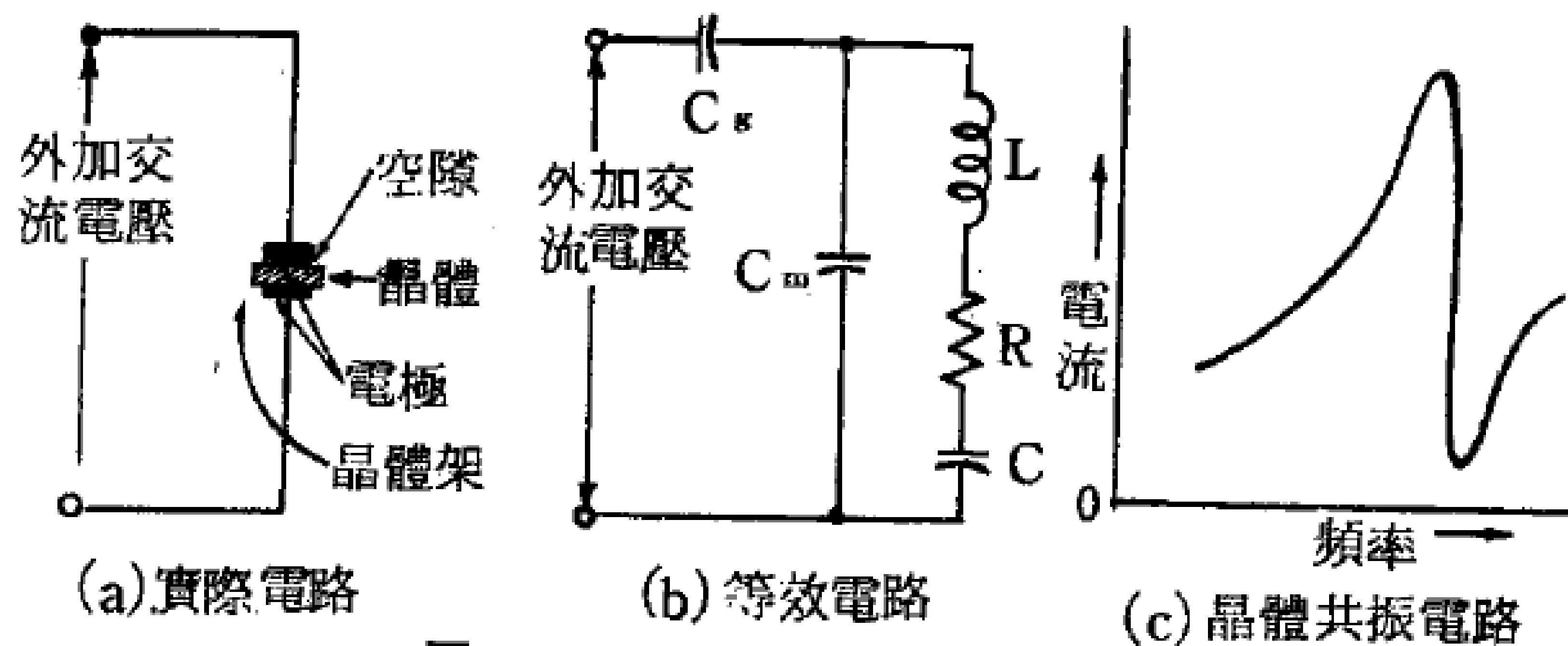


圖 12 — 81　晶體及晶體架

架是將晶體完全夾在兩金屬極板間，有的是在晶體與晶體架的極板間仍留有空隙存在。所留空隙的大小、晶體所受的壓力以及兩極板接觸面積的大小，對於振盪頻率的產生約 0.1% 的變化。但爲了適當控制振盪器的功率起見，一般都用固定夾緊的晶體架。

在振盪頻率時，晶體的作用完全像調諧電路一樣，因此晶體及晶體架均可用一個等效電路表示（見圖 12 — 81(*b*)）。圖中電容 C_m 表示在有晶體時，晶體架兩極板間的電容（晶體未發生振動時）。電容 C_g 表示金屬極板與晶體空隙間的電容。串聯的電感 L，電阻 R 及電容 C 表示晶體在振動時，晶體的等效電路。電感 L 爲晶體振動時，晶體有效質量的等效值，電容 C 爲晶體彈性的等效值。電阻 R 爲晶體振動時機械損失的等效值。電感 L 及電容 C 串聯電路所生的振盪頻率，也就是晶體機械振動的頻率。由於等效電路中有並聯的電容 C_m，當串聯電路中的感抗等於並聯的容抗時，就產生並聯振盪，其振盪頻率較串聯電路振盪頻率稍高。只要串聯電路中有很小的電感抗就能與並聯電容 C_m 的容抗產生並聯振盪，因此串聯振盪頻率與並聯振盪頻率非常接近。關於兩振盪頻率都已表示在圖 12 — 81(*c*)中，振盪曲線的最高點及最低點都非常尖銳，這表示晶體只在此非常狹窄的頻率內振動，此種性質可提供一高選擇性，也就是能將不需要之頻率分隔開。

圖 12 — 82 是一晶體振盪器電路圖，圖中電路的反饋是經由極間電容 C_{gp} 而得，抗流線圈（*R.F.C.*）作爲阻止射頻電流流經柵漏電阻 R_g 之用，偏壓則由電阻 R_g 提供。晶體的作用與調柵振盪電路的控制柵槽路完全相同。晶體在前半週波內接受機械能，後半週波內就立刻放出電能，其接受與放出能量的速率，由其自然頻率決定，因此也就決定了電路的振盪頻率。晶體所損失的能量，是從

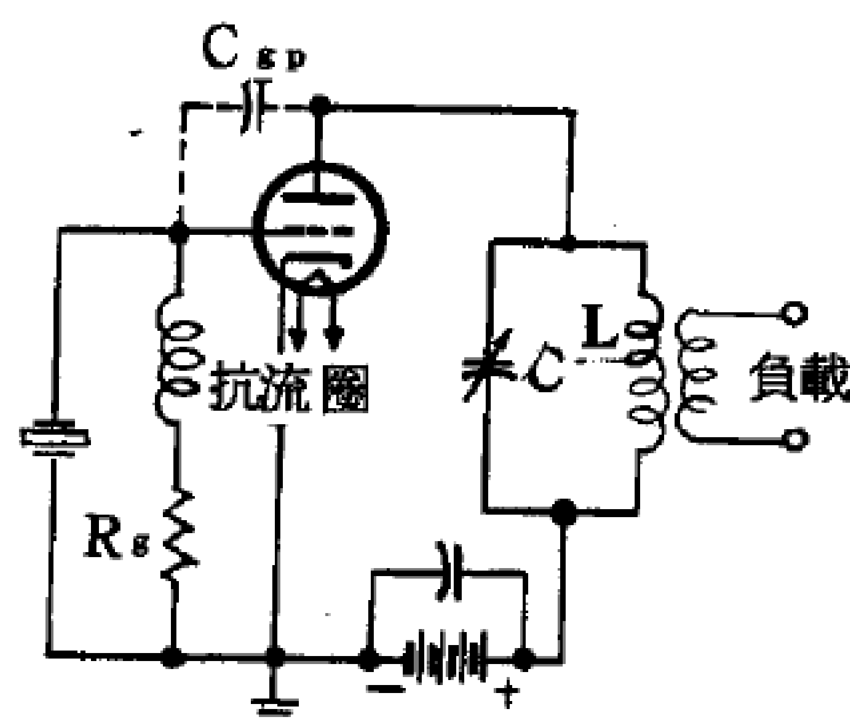


圖 12 — 82　晶體振盪器電路

極間電容C_{gp}所反饋的能量得到補償。

圖12—81(c)的晶體振盪頻率曲線，是藉調節屏極槽路頻率（從低於晶體振盪頻率調到高於晶體振盪頻率）而得。當頻率增大，晶體等值串聯（L-C-R）電路首先發生振盪，其結果就是圖12—81(c)中電流的最高點（串聯電路產生振盪時之阻抗爲最小值，所以此時的電流爲最大值）。屏極槽路頻率，再增高少許，就達到晶體等效電路的振盪，此時，晶體的等效感抗等於晶體架電容的容抗值。此並聯等效電路的振盪頻率曲線也就是圖12—81(c)中的電流最低點（晶體等效電路最大阻抗值的頻率），當屏極槽路頻率增加，而使晶體產生振盪的情形，可由屏極電流驟降而得知振盪的產生。

雖然晶體只能在其振盪頻率發生振盪，但藉調節電容（C）的大小（見圖12—82）可得一恆定而較寬的振盪頻率範圍。由於電容（C）的變化，輸出功率也隨之變化。屏極電壓、絲極電壓的改變，以及電子管的換新等，對於振盪頻率僅有輕微的影響。

晶體的優點就在於它具有尖銳的諧振曲線，由此特性，晶體只能在一非常小的頻率範圍內產生振盪，因此晶體振盪器的穩定程度極高。在軍用及容許度低的商用廣播電臺都用此種振盪器，並且利用晶體以穩定發射機的頻率，以及作測量用的標準頻率等。如果電路上所用的晶體，是一個低頻率的，並且輸出未經調諧（沒有諧振電路存在），如此，就會有大量的諧波頻率輸出（即晶體振盪頻率之倍數頻率電波），因此，可以利用單一晶體得到很多的頻率標準點。

晶體控制振盪是一個固定頻率的振盪器。但不同的振盪頻率，需用不同的晶體產生，特別是在軍用方面，當發射機需要換頻率時，要快而連續性的更換。因此，仍以通常可變頻率的振盪器爲宜。晶體振盪器的輸出功率低，亦是缺點。

【晶體麥克風】（Crystal microphone）

亦稱晶體微音器。

詳閱“晶體微音器（*Crystal microphone*）”條。

【晶體控制】（Crystal control）

藉晶體維持工作於某一頻率。

【晶體控制發射機】（Crystal control transmitter）

發射機之載波直接由晶體振盪器所控制者。

【晶體動量】（Crystal momentum）

晶體動量是當光子入射到晶體上時，產生之繞射，使光子的波向量由K變爲 K'，且晶體中的各原子也因之振動而產生振動波。設振動波的波向量爲q，則由理論或實驗，都可得到下式：

$$q = K' - K - g$$

式中g是互易晶格的位置向量。若$g = 0$，可得

$$\therefore \hbar q = \hbar K' - \hbar K$$

因爲$\hbar K$及$\hbar K'$各爲入射前後光子的動量，由動量守恆定律，可以假設$\hbar q$爲晶體的動量。

事實上，晶體並非眞有動量。因爲當將某一瞬間各原子的動量相加時，其總動量與$\sum_{r=0}^{N-1} e^{irqa}$成正比，式中$q$是振動波的波向量，$a$是相鄰原子間的距離。如果採用週期性邊界條件，則當$q \neq 0$時

$$\sum_{r=0}^{N-1} e^{irqa} = \frac{1 - e^{iNqa}}{1 - e^{iqa}} = 0$$

因爲$e^{iNqa} = 1$，當$q = 0$時

$$\sum_{r=0}^{N-1} e^{irqa} = N$$

所以除非$q = 0$，否則晶體並無眞正動量。且當$q = 0$時，波向量即爲 0，波長趨於無限大，此時的振動是各原子同時以相同的速度振動，即是整塊晶體一齊振動，各原子間的相對位置並不改變。

【晶體旋轉法】(Rotating crystal)

此法所用之物爲單晶。此單晶之某一晶軸須與具有一定波長之入射X光成垂直。將圓筒型之底片圍繞晶體四周放置，讓晶體以圓筒之中軸爲中心而旋轉，在適當之角度時恰好合乎布氏定律之繞射條件。於是繞射線飛離晶體而在圓筒底片上留下繞射點。這些繞射點構成之圖案就提供了我們另一種形式之圖案記錄。如圖12—83所示。

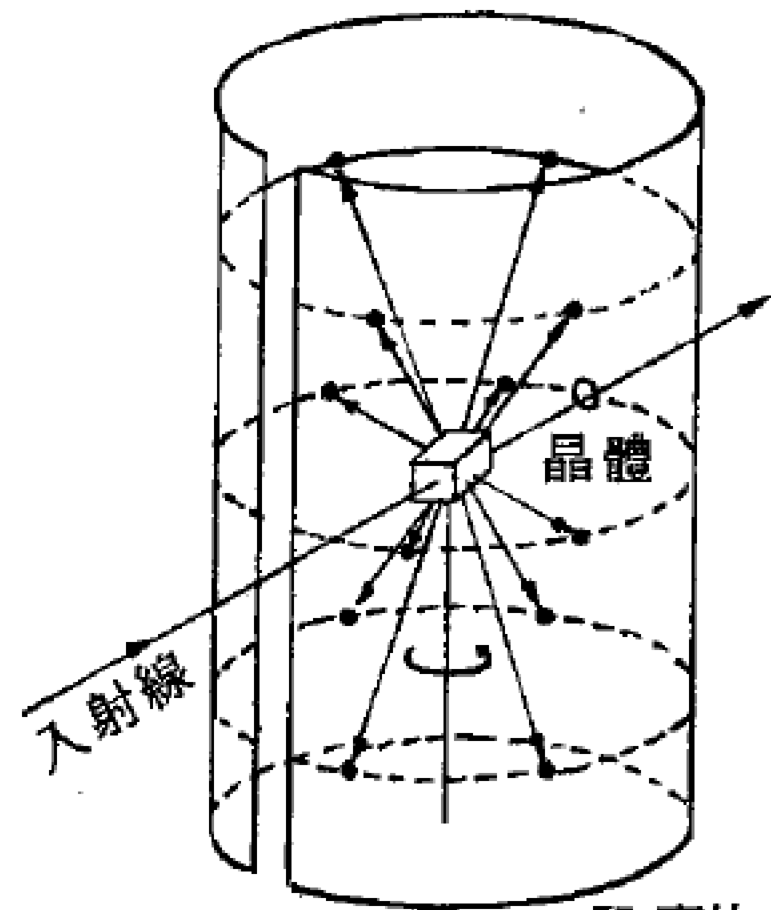


圖 12—83 晶體旋轉法，繞射點在底片上構成之繞射圖案。

【晶體旋轉攝影術】(Crystal rotation photography)

要決定光束的指數時，如一個接一個去量度繞射光束，由於事先知道產生每一光束的方向，所以決定指數就沒有什麽困難；但如使用照相感光板同時記錄很多光束時，每一光束的指數必須辨明，爲了達成這一個目的，晶體學家設計出了很多種智巧的方法。

現在被廣泛應用的一種爲晶體旋轉攝影術(圖12—84)，當X光照射時，晶體繞著與一個主晶軸重合的軸旋轉，採用圓柱狀底片記錄，繞射光束的像(*image*)都排在層線(

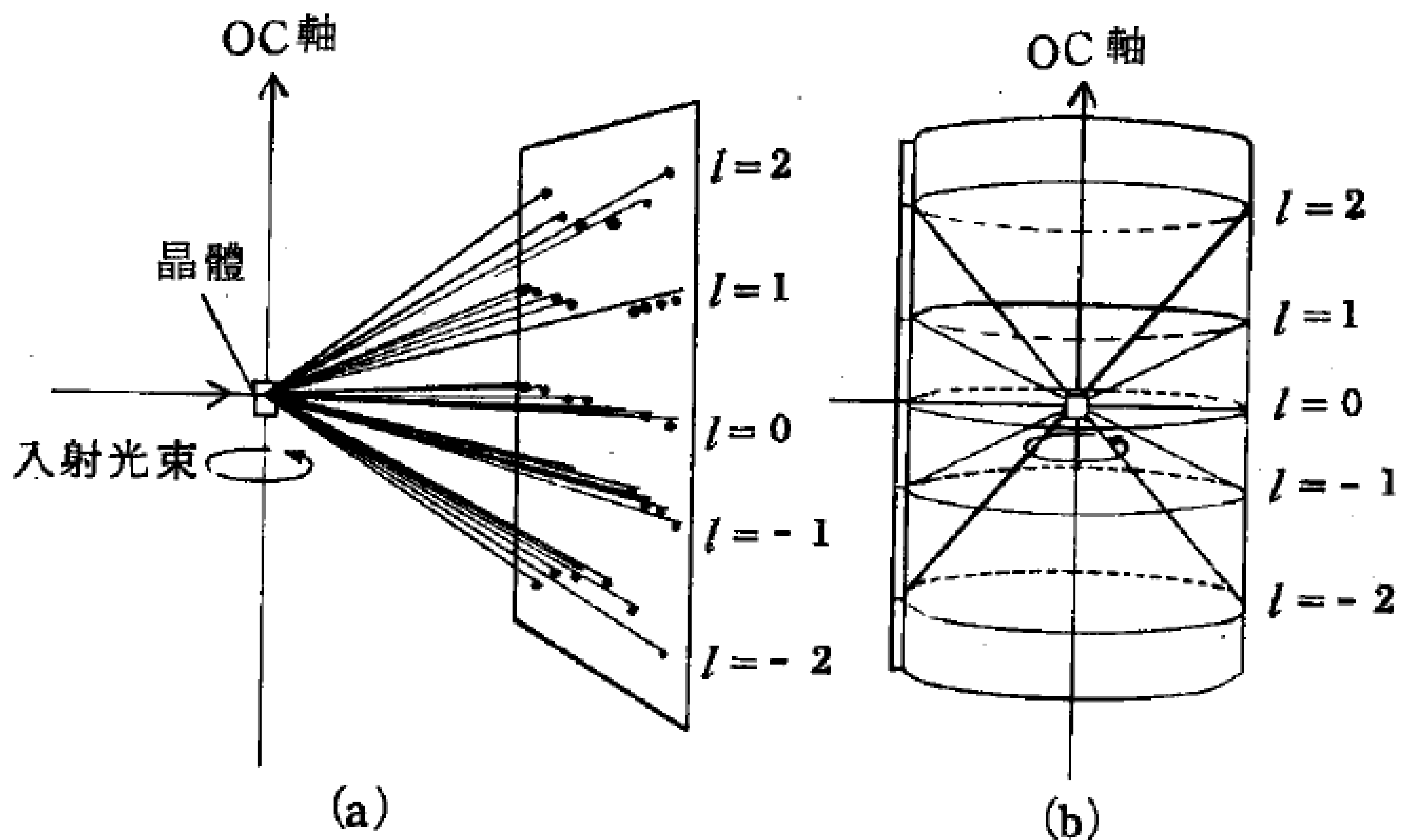


圖 12—84 旋轉式攝影

layer line）上，舉例說，如晶體繞晶軸 OC 轉，所有的 h 及 k 值的點，都在對應於 $l=0$，$l=1$，$l=2$ 的層線上。但如點很多，分辨就很困難，於是魏森柏格照相機（*Weissenberg camera*）就使用狹縫，使某一條層線單獨通過，當晶體轉動時軟片平移，如為水平移動，由點的水平方向位移，可以知道當光束被記錄時安放晶體的角度，於是可以決定其他的指數。

作旋轉式攝影時，將X光對準一小塊晶體，這塊晶體繞著與一主晶軸平行之軸旋轉，繞射光束可由一平的感光板（如圖 12—84(a)）或圓柱形的感光片（如圖 12—84(b)）記錄，所有反射光束的像都排在層線上，圖中之晶軸沿 OC，層線對應於 $l=0$，$l=1$，$l=2$；所有的點對應於全部不同的 h 及 k。

【晶體散射】（Crystal scattering）

晶體是個排列美好的有厚度的東西，它全以相同的原子組成。然而如何安置這些排列，使得對於所給的光束（X-射線）、電子束、中子束或其他任何東西，在所給的方向上能得到一個強烈的反射極大值。所有從這些原子的放射都必須同相，而同相和異相的數目不能相等，否則波會抵銷掉，故須安排入射方向及反射方向成相等角度的平面（圖 12—85）。

考慮兩平行平面，如圖 12—85，自此兩平面散射的波，只要波前行經的距離差是波長的整數倍，就會同相，此距離差可以看出是 $2d\sin\theta$，其中 d 是兩平面間的垂直距離，因此產生相干性反射（*coherent reflection*）的條件是

$$2d\sin\theta=n\lambda \quad (n=1, 2, \cdots\cdots)$$

$\Delta L=2d\sin\theta=n\lambda$ 條件式稱布勒格（*Bragg*）條件式。如果晶體的原子正好遵照此條件式（$n=1$）排列在平面上，則會有強烈的反射。但是如果有其他相同性質的原子插在中央，則此中間的平面也會

以同等強度散射，而與其他的放射發生干涉，致使效果為零。所以上式中的 d 必須是相鄰平面間的距離。

而且，實在的晶體通常並不只是單種原子以某種方式的重複排列，而是以某種“圖樣”一直重複著排列。如鈣、碳、三個氧原子等排成碳酸鈣，它可能包括相當多的原子。但不管是什麼，此圖樣在花樣中重複著，這個基本圖樣稱做單位晶胞（*unit cell*）。

此重複的基本花樣定義了我們所稱的點陣型（*lattice type*）。觀察晶體的反射（*reflection*）、花樣和對稱（*symmetry*）性，就能很快決定它的點陣型。換句話說，在那個方向能找到反射，就可以決定晶體所屬的晶點陣型；但要決定點陣上的晶胞內的構造，必須考慮在每一個方向上散射的強度。即在那一個方向上散射決定於點陣型，但散射有多強卻決定每個晶胞內有些什麼。用這種方法，晶體結構可以求出來。

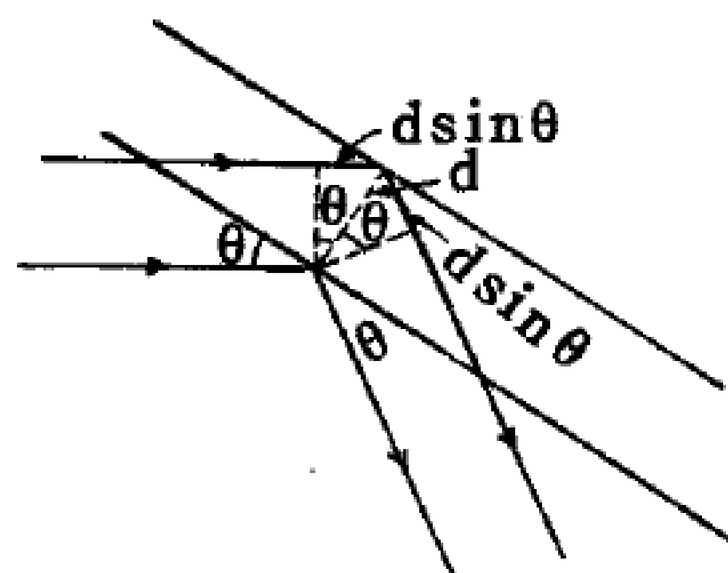


圖 12—85
波被晶體平面散射

如果兩最近平面間距離少於 $\lambda/2$，則前式無 h 的解。因此，如果 λ 大於零最近平面間距離的兩倍，就沒有兩旁的繞射花樣，而光會直接穿過物體而不散開或有所損失。所以，在可見光情形，λ 遠大於原子的間隔，因此會直穿過去，不會有從晶體內平面反射的花樣。

在產生中子的原子堆（*pile*）裏，如果引出這些中子使它們進入一長塊石墨，中子就會沿著路徑不停擴散。它們擴散是因為被原子反彈回來，但嚴格地以波動說解釋，它們被反彈是由於晶體面的繞射。如果取一長塊石墨，從石墨遠端射出來的就都是長波長的中子了。事實上，畫出強度時波長的函數圖，可看出除了 λ 大於某一極小值外，強度將為零。換句話說，這樣我們可以得到緩慢中子，只有最慢中子才能射出來，它們不被石墨晶體面繞射或散射，它們像光穿過玻璃似地直射過去，而

不向兩邊散射出去。

【晶體場理論】(Crystal field theory)

過渡金屬離子生成錯離子時，受到其周圍陰離子或陰性基的靜電作用。在晶體場理論中，這些陰性基視為帶負電荷之點，所產生的“晶體場”破壞了單獨金屬離子原有的球形對稱性。在球形對稱的核電場中，離子的五個 d 軌道能量完全相等，但在晶體場作用下，對稱性減少以至 d 軌道能量發生變化，而各軌道分裂產生晶體場裂矩。晶體場分裂的形式及裂矩的大小視離子及陰性基的性質及配位鍵長度而定。電子通常進入能量最低之 d 軌道，因此錯離子往往較穩定。

一金屬離子在六個陰性基以正八面體形式包圍之下，兩個 d 軌道能量升高，餘下三個 d 軌道能量降低。金屬離子在四個陰性基以正四面體形式包圍之下，晶體場分裂情形正與正八面體系統相反。

晶體場理論可正確解說過渡金屬離子的穩定能、磁性及其吸收光譜。

【晶體結構】(Crystal structure)

卽晶體格子。

參閱“晶體格子 (*Crystal lattice*) ”條。

【晶體結構之測定】(Determination of crystal structure)

此處所指晶體乃包括元素晶體、化合物晶體、合金晶體，卽自然界所能製造之一切晶體。測量之步驟如下：

1. 由粉末法所得之繞射圖案，依繞射線之位置，得繞射角 2θ 之大小，而確定該晶體之晶系，同時得該晶體晶胞之大小。

2. 由已知晶胞之形狀、大小、樣品之化學成分及密度，可算出晶胞內所含之原子數。

3. 由繞射線相對之強度以確定該晶胞內原子所在之位置。

以上之步驟以 3. 項為最困難，遇有複雜之結構時，則有賴於經驗豐

富的專家去測定。

【晶體微音器】(Crystal microphone)

碳粒微音器有一缺點，它需要外加直流電壓才能工作。在某些場合下，微音器用的直流電源不易獲得。除此以外，碳粒間還會有直流電流跳火現象，可能使碳粒併在一起，這樣將減低微音器的靈敏度。又在使用時，由於碳粒移動，可能產生微弱的電弧，使輸出聲音中夾入雜音。

晶體微音器不需要另外電壓電源，它的工作原理和碳粒式不同，因此碳粒微音器所遭遇的困難，可完全消除。有幾種特殊的晶體，在受到壓力或機械振動時，晶體的表面就發生荷電的現象。如果晶體的兩面用金屬片接觸或以導體相連接，就有電壓輸出。酒石酸鈉鉀的若歇耳鹽(*Rochelle salt*)溶解結晶的此種特性，較其他的晶體為佳，但不耐潮濕和高溫。因此要在製成的晶體上封一層薄臘以隔絕潮氣，用兩薄片晶體膠合以減少溫度變化的影響。

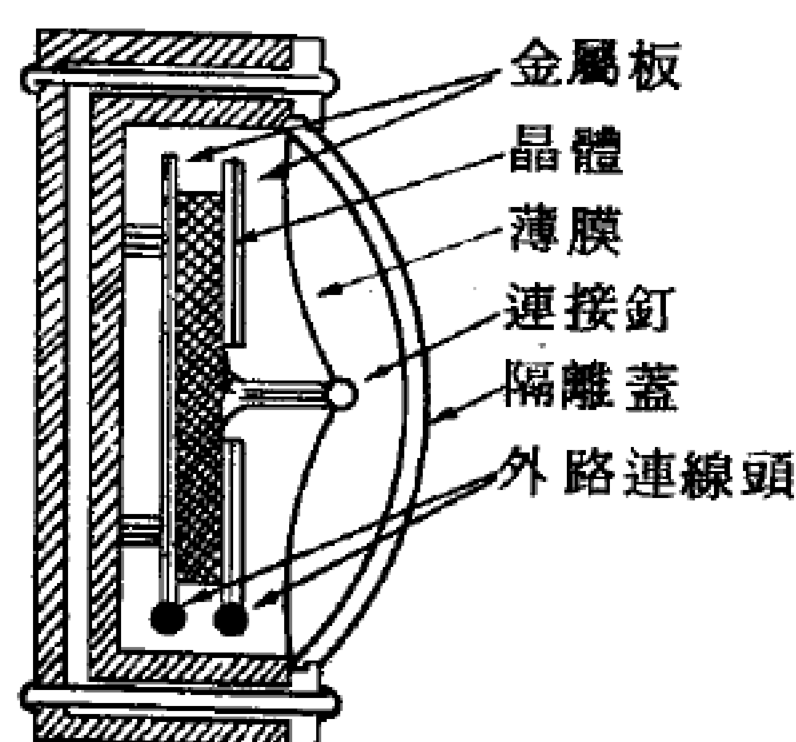


圖 12 — 86
晶體微音器的構造

晶體微音器有兩種。一種是晶體本身直接受音波的振動，而達成聲能轉變為電能的目的。這類晶體微音器是利用多層架子(層數視需要而定)，每層架子上放置二組金屬片夾著晶體。多層的架子相當於一組串聯(或並聯)的電池。晶體受音波振動，即可因適當的排列情形，而獲得所期望的輸出。這類微音器的音頻響應可自 30 *Hz* 至 14,000 *Hz*。但在使用中，晶體的排列，不能有任何振動。振動會破壞原有的設計，以致有嚴重的失真、雜音、晶體間的輸出互相抵銷等情形。故除特殊的固定的微音器外，甚少採用此種晶體微音器。

另一種晶體微音器是利用膜片推動晶體的。圖 12 — 86是這一類晶體式的構造，平滑的若歇耳晶體放置在兩片金屬板之間，二金屬板用導

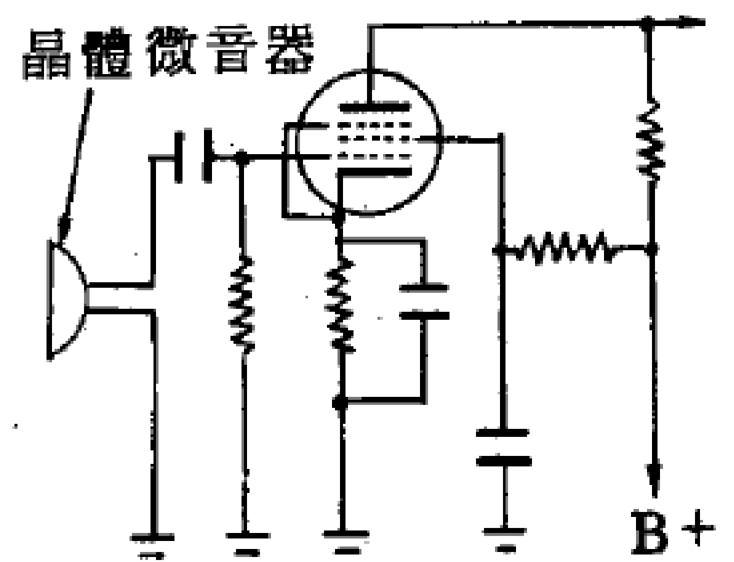


圖 12 — 87
晶體微音器的輸出

線接至外面。另有一片薄膜，由前面金屬板上的小孔，用機械方法連在晶體上。當音波衝擊薄膜時，壓力傳至晶體上而使二片金屬板間，產生與音波相同的電壓變化，而達成轉變為電能的目的。

圖12—87是晶體微音器的線路情形，因為晶體微音器的阻抗較高，應用時不需要變壓器，而直接連至放大器的柵極。

用膜片傳動的晶體微音器，其音頻響應可自 30 *Hz* 至9,000 *Hz*，輸出大、體積輕巧，且無直接受音波激動的晶體微音器不能受振動的缺點，所以一般均樂於採用。唯一的缺點是不能受潮及高溫。一經受潮及高溫的損害，使晶體失效以後，就無法修理。

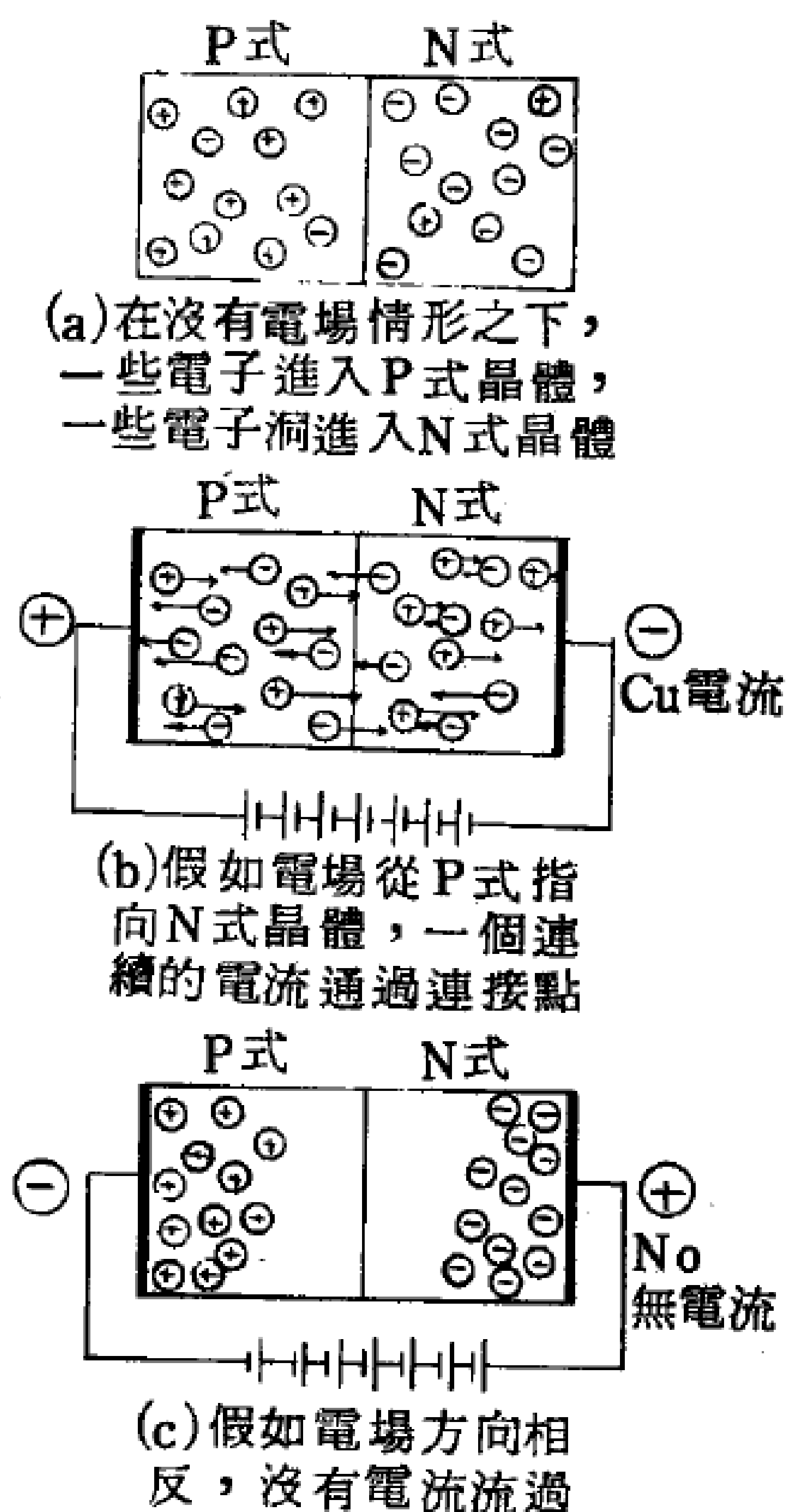
【晶體揚聲器】(Crystal loudspeaker)

聲頻電壓輸至晶體時發生機械振動，附於晶體之皮質薄膜亦生振動。

【晶體整流器】(Crystal rectifier)

把兩塊晶體接觸在一起，一個*N*式晶體具有自由電子而一個*P*式晶體具有電子洞(圖12—88)。在*N*區域的一些電子會擴散到*P*區域，而在*P*區的一些洞也會擴散到*N*區域。因而*N*式晶體會變得帶少許的正電荷而*P*式晶體會帶有一個相等量的負電荷。在接觸面(即*N*－*P*連接處)的每一邊的相反電荷之間，會有一個電學上的引力阻止更進一步的擴散，當*N*式晶體具有一定數目的洞而且*P*式晶體具有相等數目的電子時，即達到穩定狀態。不過當自由電子和電子洞在一個物質裏並排著存在時，會由於一個自由電子填在一個洞裏而成對毀滅(*pair annihilation*)。為了要補償在毀滅過程中所失去的，少數的電子和洞仍會通過*N*－*P*相交處而在相反的方向繼續擴散。

假定一個電池的正極連接P式晶體而負極連接N式的晶體如圖12—88(b)，會有一個力量促使洞向右移動，電子向左移動，而電流將會在這個系統流通。因二個晶體都被橫過邊境的洞和電子侵入，使在N－P相交處二邊的相互毀滅率顯著的增加，更多的洞和電子在二邊產生。在N式晶體的這些新電子可從電池負極導線所流出的電子來供應，而新的洞會由於電子向著到電池正極的方向離開P式晶體而產生。



(a)在沒有電場情形之下，一些電子進入P式晶體，一些電子洞進入N式晶體

(b)假如電場從P式指向N式晶體，一個連續的電流通過連接點

(c)假如電場方向相反，沒有電流流過

圖 12—88
一個電子和洞橫過一個P－N連接面的運動。

如把電壓的方向弄反，情形就完全不同了，如圖12—88(c)。現在，電子和洞會被拉到相反的方向，在N－P相交處剩下的是"無人地帶"。顯然地在這種情況沒有電流會流經雙重晶體。因此，只能在一個方向傳導電流而在相反的方向則沒有。這種N－P相交處的單方向導電性質，可以用一對N式和P式晶體代替更爲複雜的眞空管來調整交流電。

【晶體諧振器】(Crystal resonator)

利用晶體擔任諧振電路。

【晶體檢波器】(Crystal detector)

將金屬針壓在半導體上，然後經過一種特殊處理，這樣就在半導體和金屬接觸的地方形成了一層阻擋層。這個阻擋層會阻止電流從半導體流入金屬針，而電流從金屬針流向半導體時則不會受到阻擋。這種由半導體和金屬針所組成的能將高頻率交流電變成單向脈動電流的半導體裝置，叫做半導體檢波器。它是最簡單的檢波設備，由於金屬針和半導體

的接觸面很小，所以電容很小，因此只能在超短波範圍裏（如雷達）工作。

此外，還因爲它製造方便、成本低、體積很小，而且工作壽命長，所以在無線電、電子計算機、雷達等裝置當中，都是不可少的。最常見的晶體收音機中使用的晶體，就是一個最簡單的半導體檢波器。

【晶體檢波器的特性曲線】（Characteristic curve of crystal detector）

爲通過檢波器的電流強度與檢波器外加電壓之間的關係曲線。因爲當外加電壓的大小相同時，檢波器電路中的電流強度在不同方向內是不相同的，所以晶體檢波器的特性曲線具有不對稱的性質。根據晶體檢波器的特性曲線可以判斷檢波器電阻不對稱性的大小，並可作出關於檢波器質量的結論。

【晶體濾波器】（Filter crystal）

晶體作用於發報機或收報機，能限制某頻段之頻率通過，故稱爲晶體濾波器。

有些超外差式收報機，在第一檢波器與中頻放大器之間，使用晶體濾波器濾波，其目的在阻止一切混雜的電信侵入，因此種濾波器具備串聯諧振及並聯諧振的特性，對指定中頻則有如串聯諧振電路，讓它通過；反之，其他頻率有如並聯諧振電路，晶體不讓它通過。

【晚霞】（Rosy clouds just before sunset）

日光是由紫、靛、藍、綠、黃、橙、紅長短不一的七色混合而成。紅色的波長在所有光波中最長，所以紅色長波經過滿佈著無數微塵的大氣而到達地面，比較藍色短波來得容易。在晴朗的天氣，正午時，太陽和地面距離較近，光波經過的大氣少，所有的光波都能直達地面，所以把日光混合爲白色，如圖 12—89。

當太陽西沉而近地平線的時候，光波必須經過一層極稠密的大氣。

紅色長波就射進我們的眼簾；藍色短波，因不能穿過稠密的大氣，若遇著微塵的阻礙，就向各方散射(圖12—90)。這時就可發現地平線相近的天空和雲霓等，都為鮮艷奪目的紅霞了。可是，同時仰望自己頭上的天空，卻仍現出蔚藍色，

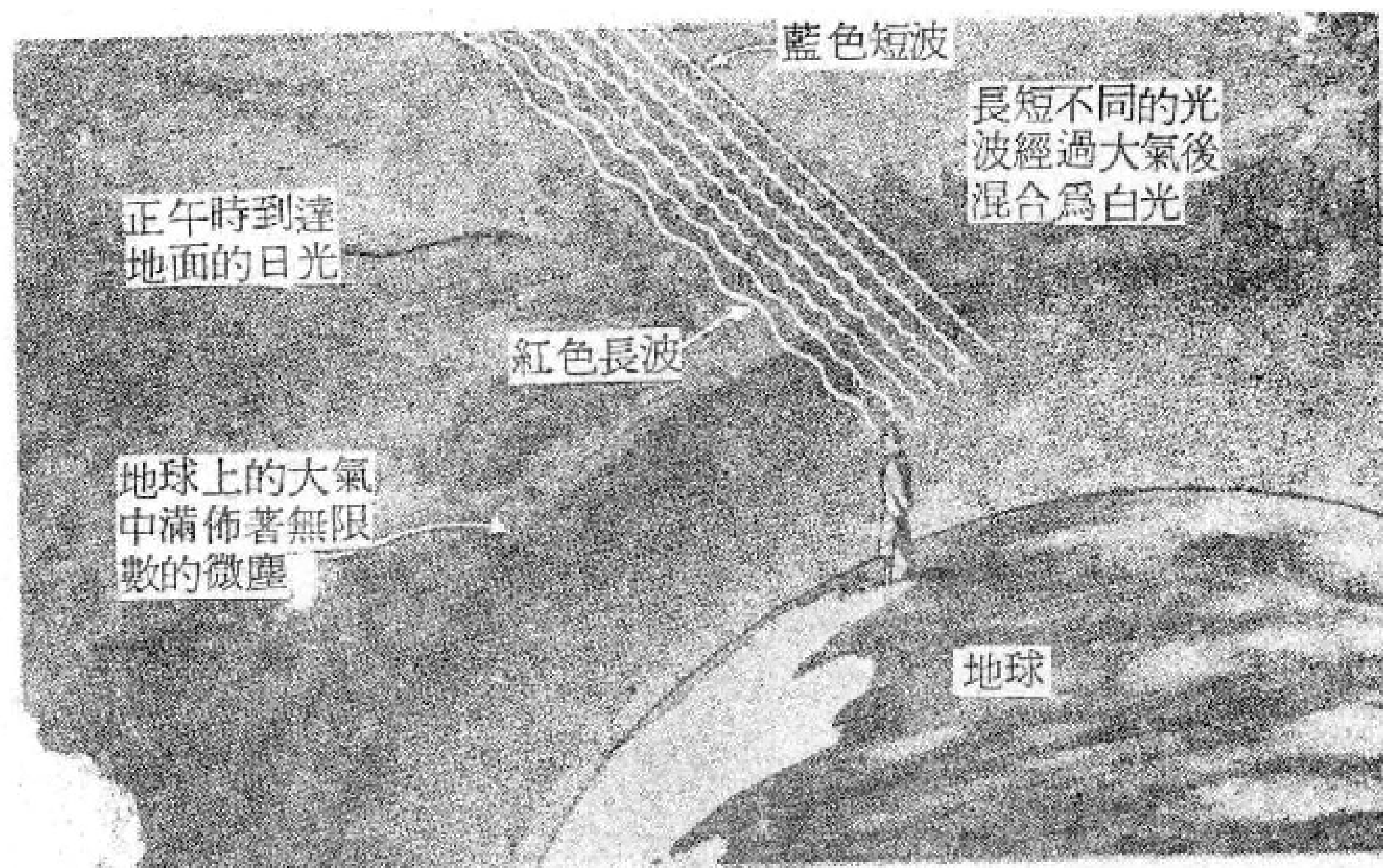


圖 12 — 89
正午時，長短不同的光波，經過大氣後，混合為白色

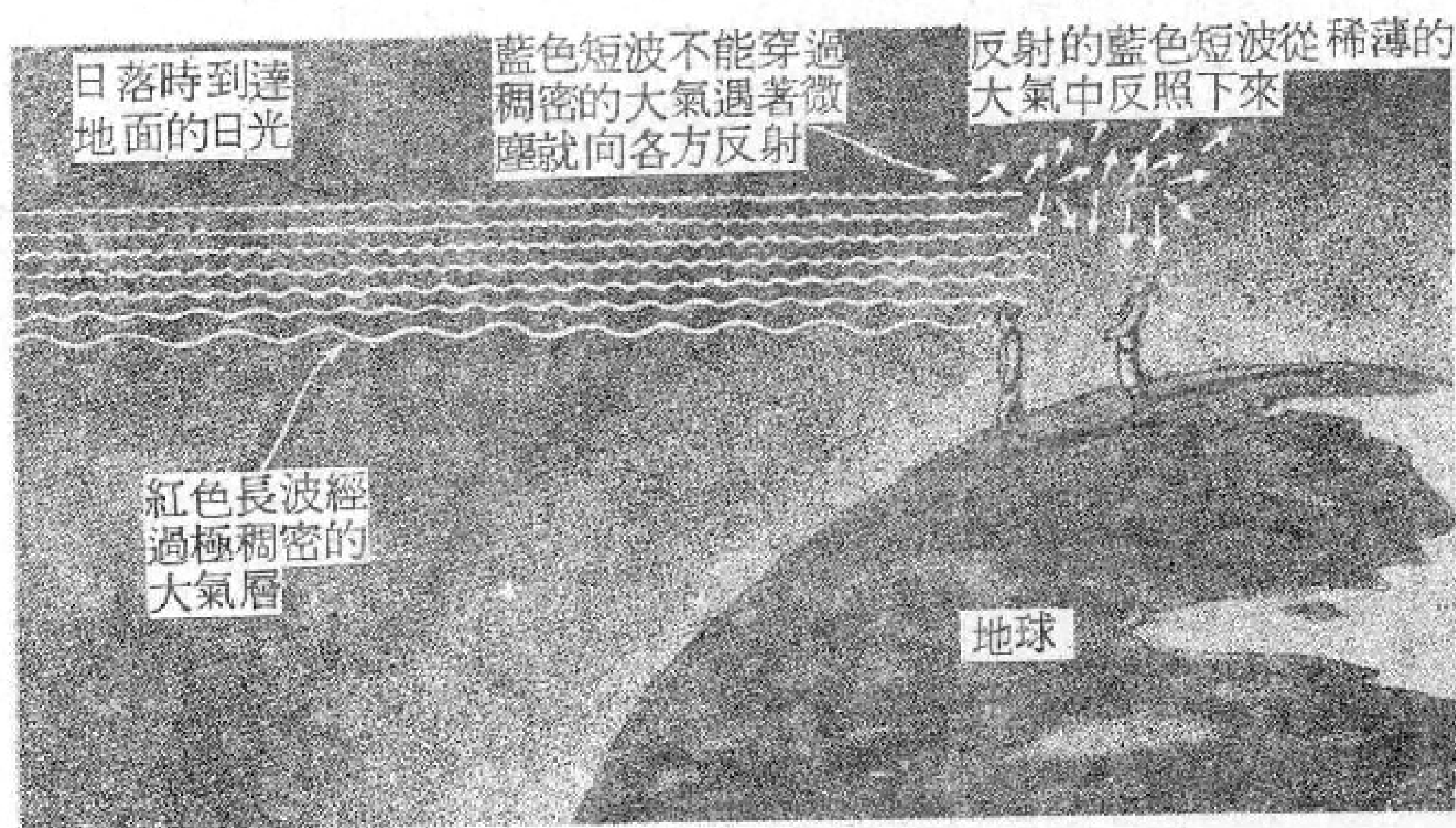


圖 12 — 90
日落時，紅色長波和藍色短波的照射情形

這是因竭目所及的色彩，都是從稀薄大氣中所反照下來的藍色短波。

【替代式合金】(Substitutional alloy)

以一種原子替代另一種原子的合金。

【替續器】(Relay)

即繼電器。

詳閱“繼電器（*Relay*）”條。

【最小二乘法】（Least squares fitting）

最小二乘法爲一種組合且描述實驗值的方法，利用這些實驗值顯示各種自變數 x 與所對應的應變數 y，最小二乘法就是找出 y 與 x 間的最佳關係。此法現已廣泛應用於經濟、商業、農業和科學上，它可以適應線性、多項式和指數等方程式。方程式的選擇須視情形而定，最簡單且最普遍的是線性關係式，即假設

$$y = ax + b$$

式中 a 和 b 是待求的常數。此法所決定的常數值 a、b 必須使實驗值與上述方程式所得計算值的偏差量之平方和，即 $\Sigma(y_{oi} - y_{ci})^2$，爲極小。式中 y_{oi} 及 y_{ci} 分別表對應於自變數 x_i 的實驗值和計算值。

【最小作用原理】（Principle of least action）

任何動力系統的作用是該系統總動量的空間積分。設 $\vec{r}_j$ 是系統中第 j 個粒子的位置向量，m_j 爲其質量，則 p_1 至 p_2 的路程之作用是

$$\int_{p_1}^{p_2} \Sigma m_j \dot{\vec{r}}_j \, d\vec{r}_j \qquad \dot{\vec{r}}_j = \frac{d\vec{r}_j}{dt}$$

式中積分是沿 p_1 至 p_2 的實際路程。此積分可簡化爲

$$2\int_{t_1}^{t_2} E_k dt$$

式中 E_k 是該系統的總能量，t_1 和 t_2 分別是系統位於 p_1 和 p_2 處的時間。

最小作用原理乃陳述一保守動力系統由位形 p_1 至 p_2 所進行的方式應使系統的作用爲駐留值（*stationary value*）。此駐留值或許是極大值，但通常都是極小值。

【最小偏向角】（Angle of minimum deviation）

稜鏡由兩平面所局限而構成一角 A（圖 12—91），具有一折射率 n，且浸於折射率爲一之介質中，如空氣，一入射線如 PQ，經過二次

折射後，相對於入射線偏向一角度 δ 而射出。由司乃耳定律（*Snell's law*）可知

$$\sin i = n \sin r \qquad (1)$$

$$\sin i' = n \sin r' \qquad (2)$$

$$r + r' = A \qquad (3)$$

$$\delta = i + i' - A \qquad (4)$$

欲求得最小偏向角，可令

$$\frac{d\delta}{di} = 0$$

從（4）式，則

$$\frac{d\delta}{di} = 1 + \frac{di'}{d\lambda}$$

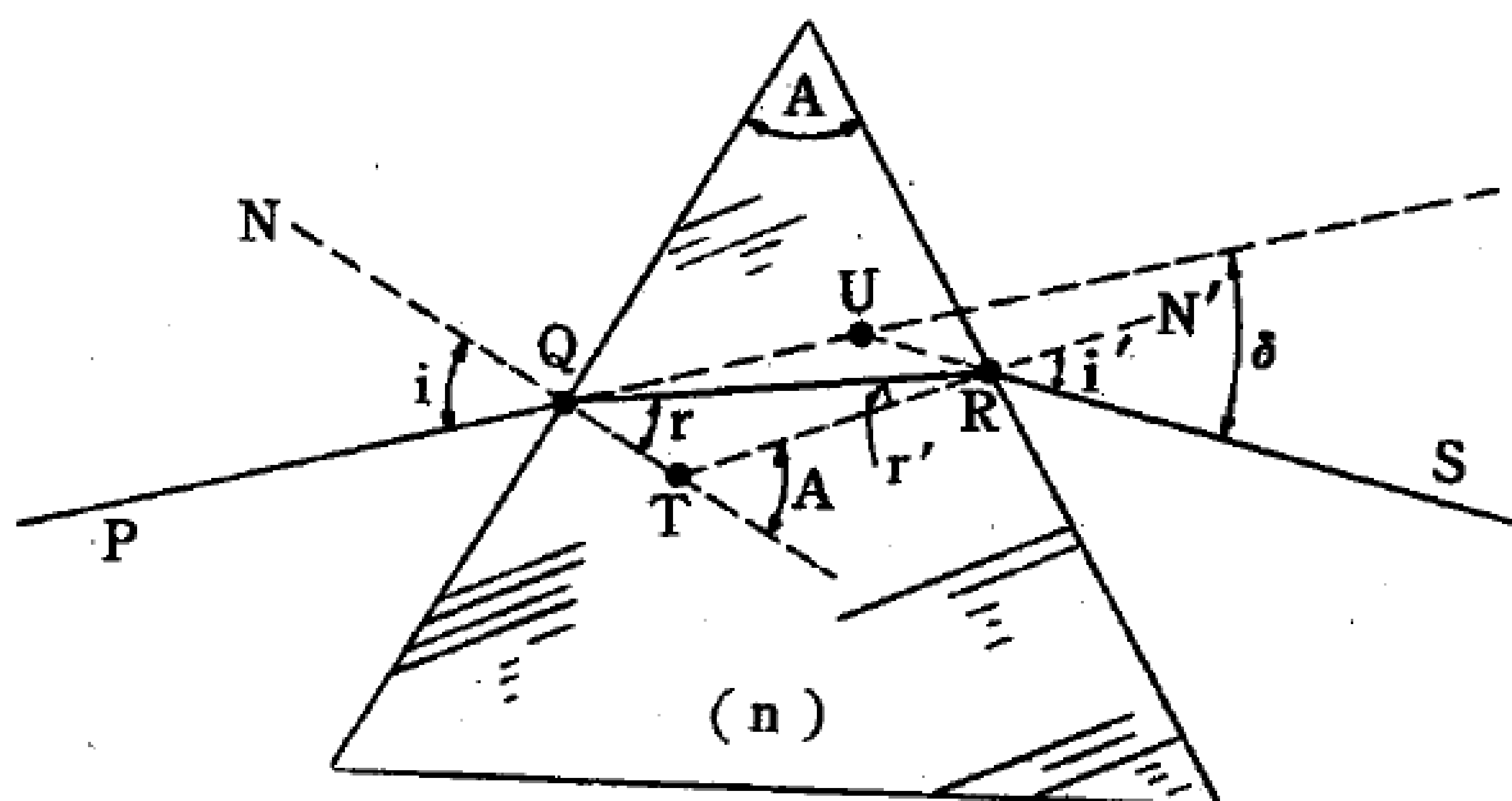


圖 12—91
一射線經過稜鏡之途徑

對於 $d\delta/di = 0$ 必有

$$\frac{di'}{di} = -1 \qquad (5)$$

但從（2）式與（1）式，則有

$$\cos i\, di = n \cos r\, dr$$

$$dr \cos i' di = n \cos r' dr$$

$$dr = -dr'$$

因是

$$\frac{di'}{di} = -\frac{\cos i \cos r'}{\cos i' \cos r} \qquad (6)$$

因角 i，r，i' 與 r' 均小於 $\frac{1}{2}\pi$，並滿足對稱條件，若（5）式與（6）式能同時滿足，勢必

$$i = i' \qquad r = r'$$

故入射角等於出射角時，出現最小偏向角δ_{min}，依據（3）式及（4）式則

$$i=\frac{1}{2}(\delta_{min}+A) \qquad r=\frac{1}{2}A \qquad (7)$$

式中δ_{min}爲最小偏向角。在此情況下，射線之途徑對稱於三稜鏡之二面。於（1）式中引入（7）式，則得

$$n=\frac{\sin\frac{1}{2}(\delta_{min}+A)}{\sin\frac{1}{2}A}$$

故由最小偏向角及稜角可求三稜鏡的折射率。

【最小電磁耦合】（Minimum electromagnetic coupling）

若加上了電磁場後的粒子運動方程式只需由未加時的方程式中該粒子的四維動量 p_μ 換成 $p_\mu-eA_\mu$（e =粒子電荷，A_μ =電磁場的四維向量位），則這種粒子和電磁場的耦合稱爲最小電磁耦合。例如電子和電磁場的耦合就是最小耦合，但質子中子則否。

參閱"楊、米爾斯場（*Yang - Mills fields*）"條。

【最大不失眞的輸出】（Maximum undistorted output）

輸出的最大電力，其失眞度尚未超過許可額者。

【最大泡壓法】（Maximum bubble tension）

最大泡壓法可測定黏度較大液體（如甘油等液體）之表面張力。

此法爲觀測垂直插入液體中之細管，放出氣泡所須之壓力，而測定液體表面張力之方法。如圖12—92，半徑 r 細管之一端距離水平液面 x。若漸次增加管內空氣之壓力，則於管之先端，產生氣泡，而漸次增大。設液體之表面張力爲γ，氣泡最下端之曲率半徑爲 b，則氣泡內部之壓力較外部壓力大$\frac{2\gamma}{b}$。又設氣泡最下端距管

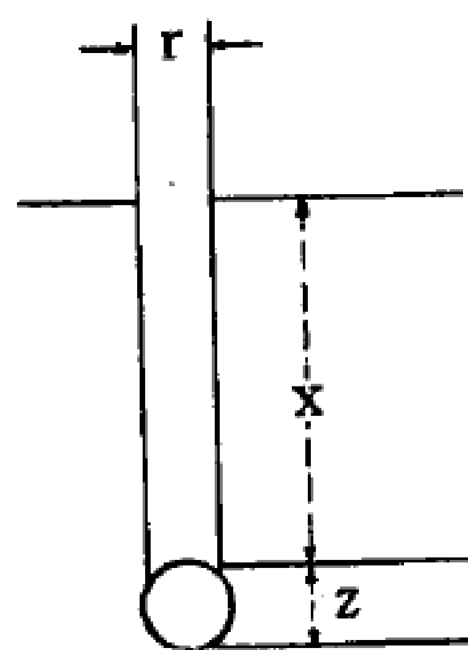


圖 12 — 92

端之距離爲 z ，液體之密度爲 D ，氣體之密度爲 d ，則泡內部之壓力 p

爲 $$p=\frac{2\gamma}{b}+g(D-d)(x+z)$$

但 p 爲相當於氣泡內部之壓力與大氣壓之差。

因由於氣泡之增大， b 及 z 亦均隨著增大，即上式之第一項減少，第二項增大，因此泡壓有一次達至最大值。實際上其達至最大壓之間，氣泡之生長較緩慢。當達至最大泡壓後，則氣泡迅速增大而破，故有充分時間作最大泡壓之精密觀測。

若管半徑甚小，則其達至最大泡壓時，氣泡呈一完全半球形。即 $b=r$ ， $z=r$ ，所以上式變爲

$$p=\frac{2\gamma}{r}+g(D-d)(x+r)$$

$$\gamma=\frac{r}{2}[p-g(D-d)(x+r)]$$

此式裏 d 與 D 比較， r 與 x 比較，均甚小，故爲使計算簡化，此式又可寫爲 $$\gamma=\frac{r}{2}(p-gDx)$$

若管之半徑較粗時，因氣泡並不呈半球形，則須另外加以稍微的修正。

【最大信號】(Maximum signal)

通常指放大器已到達最大不失眞的輸出點。

【最大馬力】(Maximum horse power)

最大馬力高度上，全開氣門，而在最大可能 $I.P.M.$ 工作時所發出的實馬力。

【最大峯反壓】(Maximum peak inverse voltage)

二極整流管擔任整流時，加於屏陰間最大的峯值反向電壓(即是屏負陰正的電壓)，普通各管均有規定值，不能逾額，否則電子管會發

生閃爍。

【最大張力】(Maximum tension)

以水銀充滿長約一公尺之玻璃管內，以指閉其口，倒揷入水銀槽中，則管之上部成眞空，此時從管之下端，送入液體數滴，則液體在眞空中急速蒸發，其蒸氣壓加大，故水銀柱較初時降低。進入液體，則繼續蒸發，水銀柱益下降，至水銀柱降至一定之高時，蒸發止，剩餘之液體，不能再蒸發，而殘留於水銀柱頭上。如是液體蒸發而汽化時，其蒸氣之壓力達於一定之程度則停止蒸發。而其壓力保持一定之值，溫度不變，則不增不減，此時壓力，謂之最大張力，或謂之最大汽壓 (*maximum vapour pressure*)。

最大張力隨溫度而定，溫度高則最大張力大，溫度低則最大張力小。

【最大許可濃度】(Maximum permissible concentration ; M.P.C.)

爲放射性物質在空氣、水及食物中之量；當人以一般速率引入體內時，能造成最大許可劑量者。

【最大許可劑量】(Maximum permissible dose ; M.P.D.)

由權威性所建立的游離輻射劑量；當人受到低於此劑量的游離輻射時，可合理的預測對人體健康沒有危害。也就是說這個劑量較會發生最輕特定災害的輻射強度要低些。這個名詞已漸不用。

參閱“輻射防護守則 (*Radiation protection guide*)”條。

【最大許可暴露】(Maximum permissible exposure)

即最大許可劑量。

參閱“最大許可劑量(*Maximum permissible dose ;M.P.D.*)”條。

【最大密度】(Maximum density)

飽和蒸氣當溫度一定時，其密度一定，若干度之飽和蒸氣之密度，

謂之當其溫度時之最大密度，故最大密度隨溫度而定。

【最大摩擦】(Maximum friction)

如圖 12—93，用寬厚不等的方形木塊一個，將面積大的一面，置於桌面上。用繩繫住，並經一個定滑輪後，其端懸一盤，此時物體並不滑動。若盤中漸加砝碼，使繩上的張力漸大，張力達到相當的數值時，物體就開始滑動，這就是表示物體和桌面接觸處有摩擦 F，繩上的張力略大於 F 時，就使物體滑動。由此可知靜止的物體在他物體上，其摩擦有一定極限；這個極限，稱爲最大摩擦。兩物體間的最大摩擦與垂直接觸面的正壓力成正比例，且視兩物體接觸面的性質而定，但和接觸面積的大小無關。

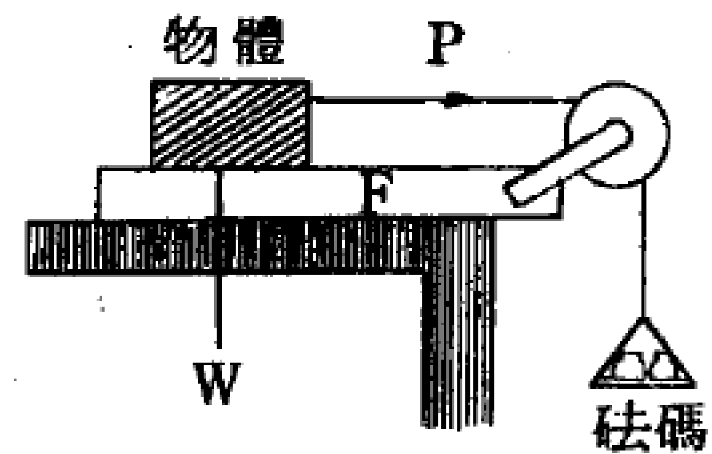


圖 12—93

【最大輸入】(Maximum input)

甲類放大之最大輸入以未超過工作負偏壓值爲原則。

【最大靜摩擦力】(Maximum static friction force)

靜摩擦力 R 並不是原本就要阻止物體滑動的力，而是因外力 F 之作用而同時產生的。如把所施的力漸漸增大，靜摩擦力也隨著增大，在物體仍然靜止時，保持 $F=R$ 的關係而平衡。但靜摩擦力並不是無限制可以增大，而是有一定的限度的。超過限度卽失去平衡，而物體就向所施力的方向開始移動，這時的摩擦力卽叫最大靜摩擦力。

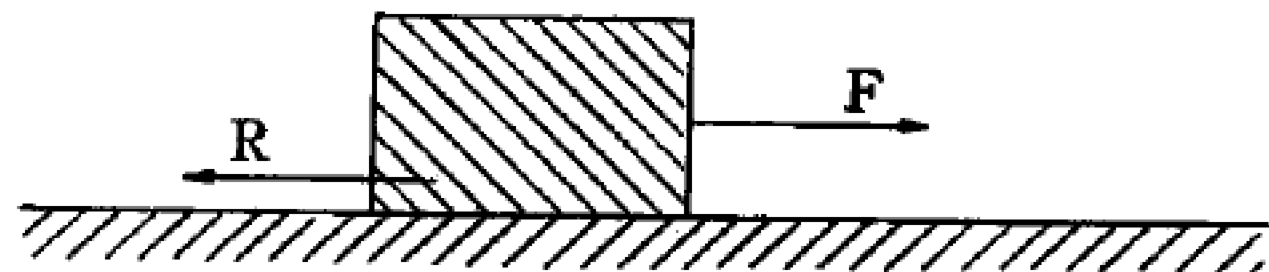


圖 12—94

【最大應力】(Maximum strength)

一種物質在抗張應力、壓縮應力或切應力中足致破裂的力量單位，且等於致破裂的最大應力，被物質橫切面的原面積除得的商數。

【最低溫度計】(Minimum thermometer)

是為測一日中最低溫度之器械。其構造係於酒精溫度計內，封入一著色之玻璃指針，令指針全體沒入酒精內，其上端恰與酒精面相接觸。將此溫度計水平置之，溫度下降，酒精收縮，則指針因酒精表面張力之作用，被牽引而下降；溫度上升，酒精膨脹，酒精通過針之周圍而進，指針停於原處不動，此時檢示指針上端所示之溫度，即知最低溫度。

【最佳阻抗】(Optimum impedance)

在電壓放大級而言，放大量既不過小，失眞度亦未逾額，此時的阻抗値稱爲最佳值。

【最佳耦合】(Optimum-coupling)

兩個調諧電路藉變壓器耦合時，最佳耦合表示這電路能給與另一電路最大能量，亦即由外部電勢供電的初級廻路能夠向次級廻路送出最大的能量。最佳耦合的大小決定於振盪廻路的性質，兩個振盪廻路中的電阻越大，最佳耦合的值也就越大。

【最高與最低溫度計】(Maximum and minimum thermometer)

有時我們很需要在某一特定的時間階段中，去確定其最高與最低之溫度。圖12—95所示之拉塞福(*Daniel Rutherford*)之最高與最低溫度計，即係爲此目的而製成。此一儀器，係由一水銀溫度計與一酒精溫度計所組成，二者均以水平方向橫置於儀器中。毛細吸力可使溫度計容器部分中之灌充液，在此種位置時，不至於侵入到微細之玻管中去；也可以將溫度計倒置，而不至於使容器中之液體流入玻管。在水銀溫度計之玻管中，有一微小之鋼柱體S位於水銀面之前。當水銀膨脹時，即將此一小圓柱推向前方，但當水銀向後退縮時，該小圓柱即停留於前所到達之處。於是，

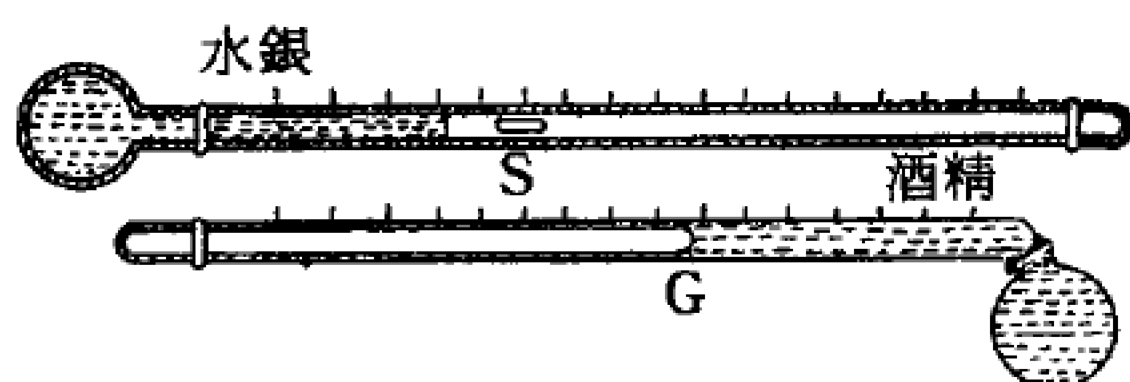


圖12—95
拉塞福之最高與最低溫度計

該小圓柱體朝著水銀面之一端，即顯示出該溫度計於整日以內所曾指示過的最高溫度。至於酒精溫度計，則是作爲最低溫度計之用。該溫度計玻管之酒精液體中，有一細小之玻璃棒G。當酒精向外膨脹時，它便流過玻璃棒而使玻璃棒仍留於原處不動。但當酒精退縮而以其凹面觸及玻璃棒時，則由於表面張力的影響，玻璃棒即被液體所帶走，一直到酒精再度膨脹時，才停住不動。於是，玻璃棒之朝著酒精液面之一端，即顯示出當天一天中之最低溫度。在作每次新的觀察以前，我們必須將玻管作適當的傾斜，使管中的圓柱體及玻璃棒仍舊返回到原來的位置，亦即使鋼製圓柱體直接位於水銀凸面之前，而使玻璃棒緊隨著酒精凹面之後。

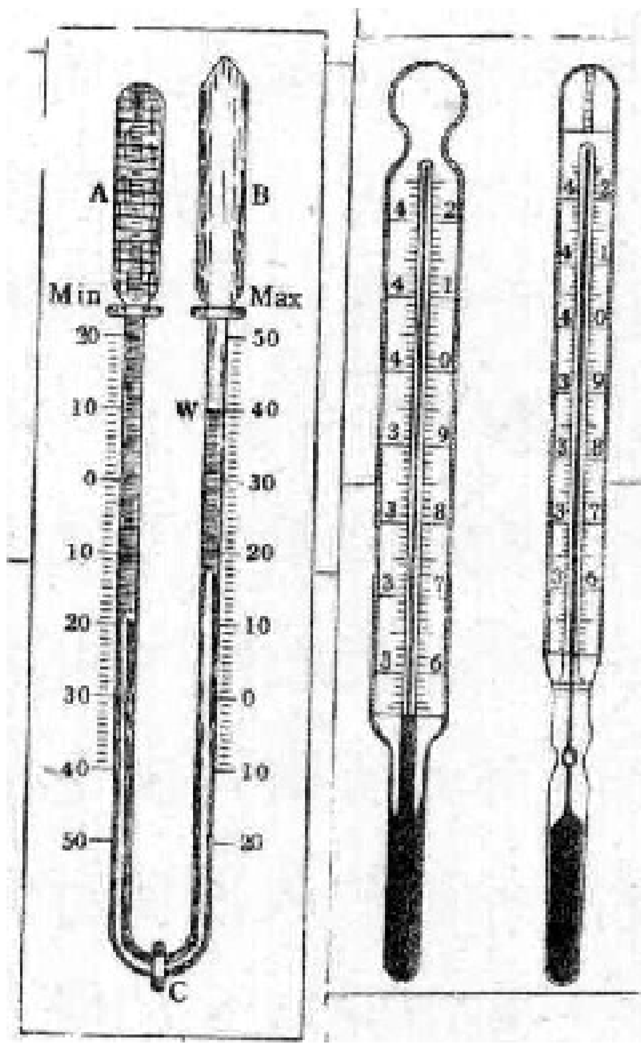


圖 12 — 96 息克斯之最高與最低溫度計

圖12—97 體溫計

近數十年來息克斯（*Six*）之最高最低溫度計，應用最廣（圖 12 — 96）。此種溫度計玻管中之U形彎曲部分C，灌有水銀，水銀之上則有酒精；酒精在左方之A處係全部灌滿，在右方則止於W之處，故B處之空間內充滿著酒精之蒸氣。當溫度增高時，由於左方溫度計中液體酒精之膨脹推動水銀柱，然後再由水銀柱推動右方管中之鋼製之小柱體，此一小柱體即指示出最高之溫度（20°）。當溫度降低時，A處之酒精向內收縮，同時又由於B處酒精蒸氣之壓力使水銀柱也跟著壓向A處，以致於推動左方管中之第二個鋼製之小柱體，遂指示出最低之溫度（13.5°）。至於鋼製小柱體位置之調整，則因

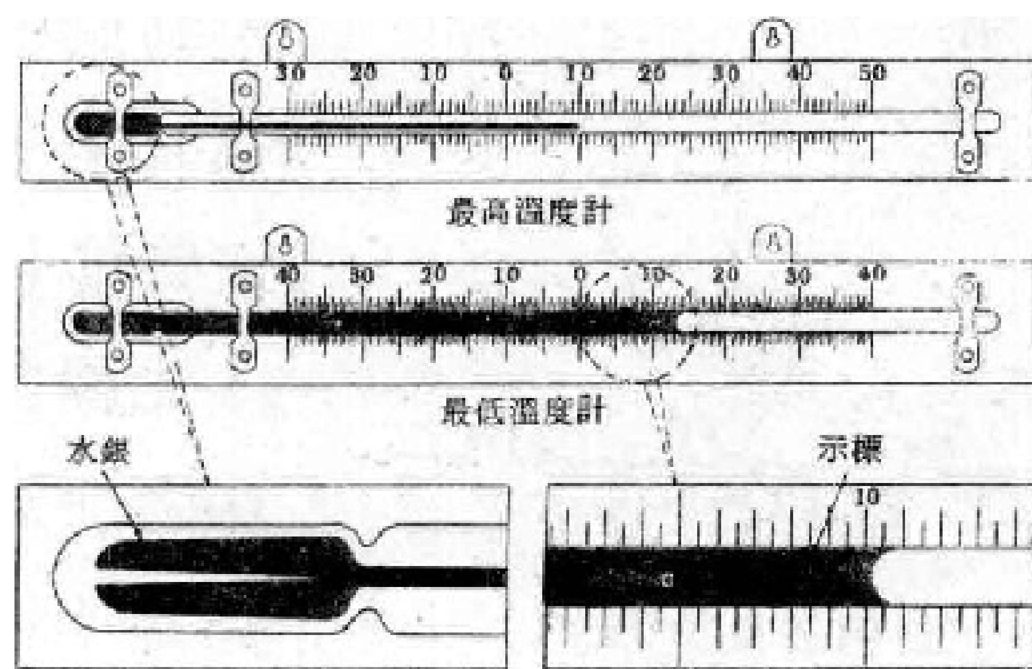


圖 12 — 98 最高溫度計與最低溫度計

其在管中摩擦力甚爲微小而易於移動，所以可在管外使用小磁石以達成。

體溫表就是一種用水銀爲充灌液的最高溫度計，其中之線狀物，可以停留於管中某一狹窄處所，而不至於由其最高溫度點，隨水銀之收縮而後退（圖 12—97）。被推移至某處而又與水銀相分離之線狀物，於冷卻後仍被遺留該處，此點亦即該線狀物在最高溫度下所曾被移置之處所。我們讀出度數後，可將線狀物仍舊摔回至溫度計之容器部分。至於管中之狹窄處所則可由下法造成：從水銀容器之底部，豎起一根極細之玻璃線，一直伸入溫度計玻管底端之口徑中，此根細線即在該處造成一圈狹窄之圓環開口，如圖 12—98所示。或於溫度計玻管底部之某處，壓成二條極爲微細之橫向凹槽。

【最短時間定律】（Law of least time）

圖 12—99中的一條光線，係自 A 發出，在 B 折射後，抵達較密介質中的 C 點。在較密的第Ⅱ種介質中，光速比在較疏的第Ⅰ種介質中要小。光線好像是經過深長的考慮似的，因爲它選定的自 A 至 C 的途徑，要使它能在最短時間內自 A 到達 C。由 A 經 B_1 至 C 的直線雖路程最短，然所需時間可能較長，因其在較密介質中的一段途徑 B_1C，由於其較小之速度而耗時較多。其他任何光路，如經過 B_2 或 B_3 者，均較爲耗時。關於這一點，十七世紀的法國數學家費瑪（*Fermat*）已經證明過了。一般言之，光線自一種介質中的一點 A，至另一介質中之一點 C，其所取之路徑，是一切可能的路途中耗時最短者；而此一路徑正好能適合折射定律。

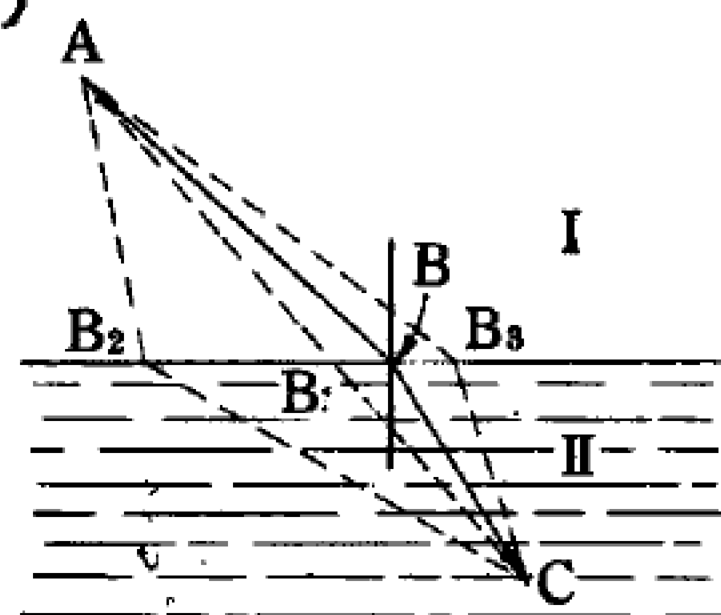


圖 12—99
最短時間定律的說明

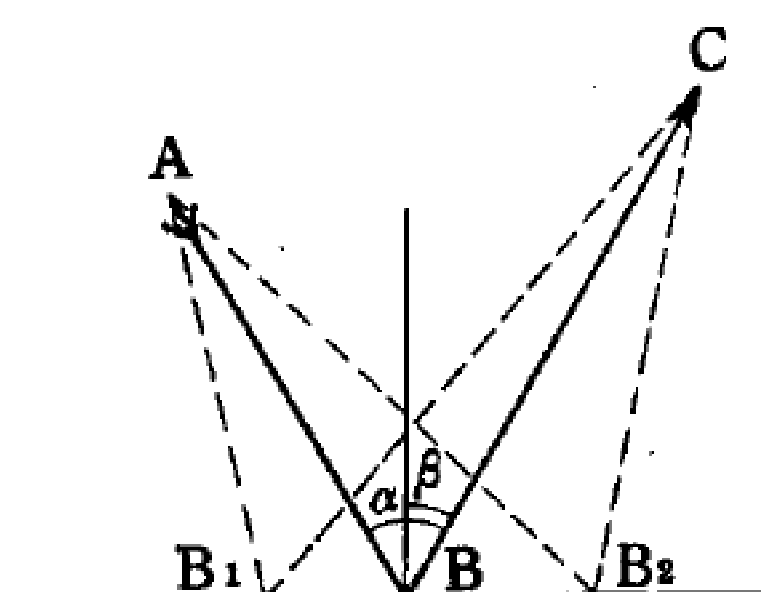


圖 12—100
最短時間定律亦適用於光之反射

故折射定律又常稱爲最短時間定律或費瑪法則（*Fermat rule*）。

光線在鏡上反射時（圖 12 — 100），根據反射定律，光路自 A 點經 B 點至 C 點，其入射角 α 等於反射角 β；該一光路較經過鏡上其他任何點之途徑爲短。故光線反射時，其所取之路徑也是需時最短的，因此亦適合最短時間定律。

【朝永振一郎】（Sin Ichiro Tomonaga 1906- ）

日本著名之物理學家，1906 年生於日本京都，父爲著名哲學家。1929 年京都大學學士。1937 年在德國萊比錫大學隨海森堡進修，1939 年返京都大學獲博士學位。1941年起任教於今之東京教育大學，現任該校光學研究所所長。大戰期間在無任何外國科學資料下，朝永首先研究量子電動力學，解決電子自質量及自電荷爲無限大的困難，使電子和電磁場交互作用的理論計算結果與實驗完全一致。1965 年與美國范曼（*Feynman*）及徐文格（*Schwinger*）同獲諾貝爾物理學獎。朝永曾獲日本學術院獎及文化獎章。

【朝永振一郎、薛丁格方程式】（Tomonaga-Schrödinger equation）

$$i\hbar\frac{\partial\Phi}{\partial\sigma(x)}=H(x)\Phi$$

其中 Φ 代表場，$\hbar$ 爲浦朗克常數除以 2π，$\sigma(x)$ 爲一類空（*space like*）平面。

【朝霧】（Morning fog）

又叫輻射霧。在無風晴天的晚上，地面因輻射失熱而變冷，接近的空氣也隨著寒冷，在清晨黎明前後形成的霧，稱之爲朝霧。

【棒之振動】（Vibration of rod）

棒之振動與弦之振動略同，分縱振動與橫振動二種：

1. 橫振動——與弦之振動無異，不過弦兩端皆固定，棒則有兩端

固定或有一端固定而另一端任其自由，固定之端恆爲節部，而自由之端恆爲腹部。

2.縱振動——用酒精將絹浸濕或以松香擦於布上，執絹或布沿棒摩擦之，則棒生縱振動。因棒各部之分子被摩擦而稍變位，由彈力作用復歸原位，前後移動，而生縱振動，其振動數與棒長之平方爲反比，與厚度爲正比。

【殘波】(Chrip)

當振盪器用於發送電碼時，電子管電極上的電壓發生變動，電子管的輸入電容 $Cg\text{-}k$ 亦發生輕微變動，結果發射頻率亦生變化。

【殼式變壓器】(Shell-type transformer)

即日字形之鐵芯變壓器。

【殼構地震】(Tectonic earthquake)

地殼不斷地在變化著，而且地殼上各部分的壓力，還隨著地球表面的變遷在不斷地變化；同時地球內部的物質，也在不斷地移動著。如果在地殼的某個地方，上下的壓力愈來愈大，地層就會被擠得產生小裂縫。日子一久小裂縫增多，這地方就變得脆弱了。如果壓力再增加下去，地層就會突然發生大裂縫(地質學上叫做斷層)斷裂開來，這時就發生地震了。這種由地殼構造的變動而引起的地震叫殼構地震。

殼構地震是最普遍的，也是最危險的。世界上幾乎所有強烈的地震都屬於這一種，此外還有兩種地震，一種叫火山地震，另一種叫陷落地震。火山地震是由火山爆發引起的。這種地震有時雖然很強烈，但是規模很小，震動的區域也不大。陷落地震普通都是由山崩引起的，這種地震的規模更小，震動也不強，一般說來是沒有什麽危險的。

【殼層】(Shall)

根據原子理論，電子圍繞原子核旋轉而呈一系列與原子核不等距離的同心圓球，稱爲軌道，我們稱一個同心圓球爲一個殼。依距離之由小

到大，把同心圓球命名爲 *k* ，*l* ，*m*.，*n* ，*o* ，*p* 與 *q* 殼。每個殼內所能含有的最多電子數是有限制的，而且其中的電子能階都相同。更進一步地，我們還可以把每個殼分成一個或數個副殼。

各個原子彼此之間形成各種鍵而結合的現象，完全是由於最外層殼上各電子互相作用而產生。至於內層電子則一直在殼層運動，不受干擾，但有時如果吸收了能量，也可能被激發到外殼上去。

【殼層模型】(Shell model)

詳閱“原子核殼層模型(*Shell model of nucleus*)”條。

【氬】(Argon)

一種惰性氣體，可用於氣體放電儀器中。在放電時，氬發出天藍色的光輝。

【氬整流管】(Argon bulb rectifier)

充有氬之二極管，目的中和陰極四周的空間電荷，減少電子管內的阻力。

【氯化鈉結構】(Sodium chloride structure)

兩個面心立方體結構以半個體對角線的位移套置起來就形成一個氯化鈉(*NaCl*)結構。氯(*Cl*)(如圖 12－101)離子佔據一個面心立方體的位置，鈉(*Na*)離子佔據另一個面心立方體的位置。每個單位立方體中有四個氯化鈉分子，其中鈉離子位置在(0，0，0)，(1/2，1/2，0)，(1/2，0，1/2)，(0，1/2，1/2)，氯離子在(1/2，1/2，1/2)，(0，0，1/2)，(0，1/2，0)，(1/2，0，0)。有這種結構的晶體多爲離子晶體。

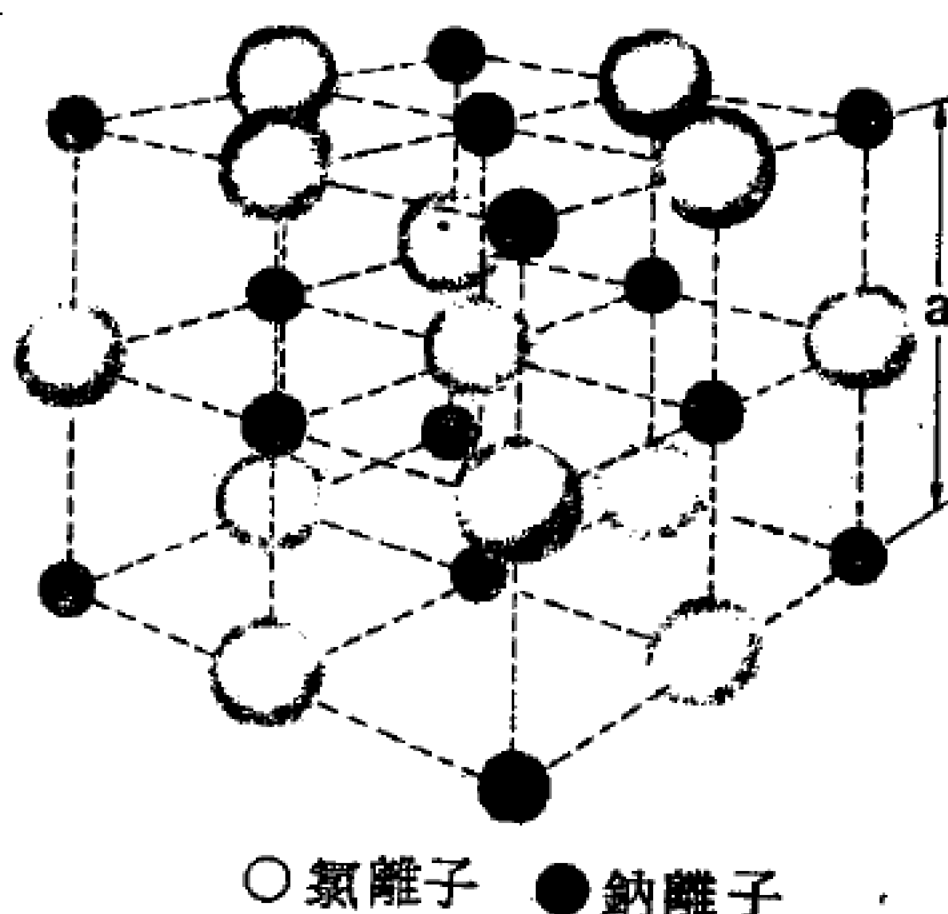


圖 12－101

【氯化銫晶體結構】(Casium chloride crystal structure)

在體心立方結構中，若各角頂位置是氯(Cl)，各中心位置是銫(Cs)，就成爲氯化銫($CsCl$)的結構。其空間晶格是簡單立方，每一組根基包含兩個原子，在(0,0,0)處有一氯原子，在(1/2,1/2,1/2)處有一銫原子。每一原子在不同原子所構成的立方體的中心，故其配位數是八。有氯化銫結構的晶體有：

$CsCl$	4.11 Å	
$TlBr$	3.97 Å	
TlI	4.20 Å	
NH_4Cl	3.87 Å	
$RbCl$	(190°C)	3.74 Å
$CuZn$	(β—黃銅)	2.94 Å
$AgMg$	3.28 Å	
$LiHg$	3.29 Å	
$AlNi$	2.88 Å	
$BeCu$	2.70 Å	

各晶體名稱後的長度代表晶格點之間的距離。

【渾天儀】(Armillary sphere)

爲我國漢朝時張衡所作天文儀器，以此推算日月星辰的運轉關係。

【游泳池反應器】(Swimming pool reactor)

卽水池反應器。

參閱"水池反應器(*Pool reactor*)"條。

【游標】(Vernier)

詳閱"游標尺(*Vernier caliper*)"條。

【游標尺】(Vernier caliper)

又名副尺、游尺或游標。可在儀器上刻度圈標度滑動之輔助標表，

以指出較大度數之分數。

最常用者爲六分儀刻度圈及氣壓計（ *barometer* ）上之游標。其他精密儀器亦常使用游標爲輔助器。

在六分儀本弧上一刻度爲十分，即在本弧上較十分更小之數不能讀出，故有賴游標或副尺以讀出分或秒。

其構造如圖 12 — 102中 *A*爲一鋼尺，上有刻度，其左端與一鋼製器接成直角；*B*係一銅製器，套於*A*尺上，可左右滑動，其中有一方形孔可窺見*A*之刻度 *S*，*B*之左端亦與一鋼製器相接，其形與*A*尺上左端之器相同，而成對稱形狀。*B*孔邊與*A*尺刻度*S*相密接處，有刻度*G*，其刻度與*S*不同，*G*之 2 0刻度長，相當於*S*之19 刻度長（亦有*G* 10 刻度，相當於*S* 9 刻度之設計者）。

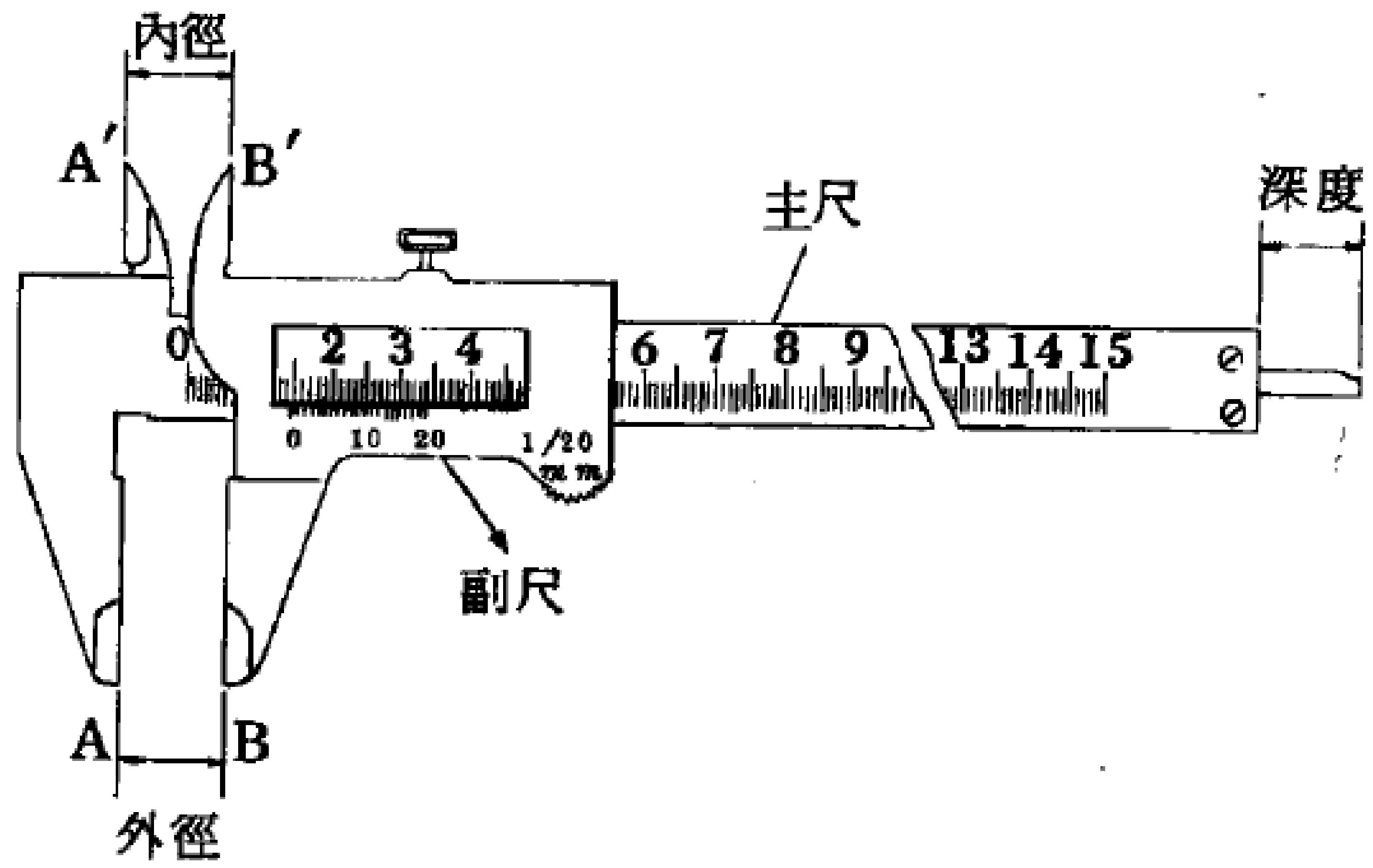


圖 12 — 102

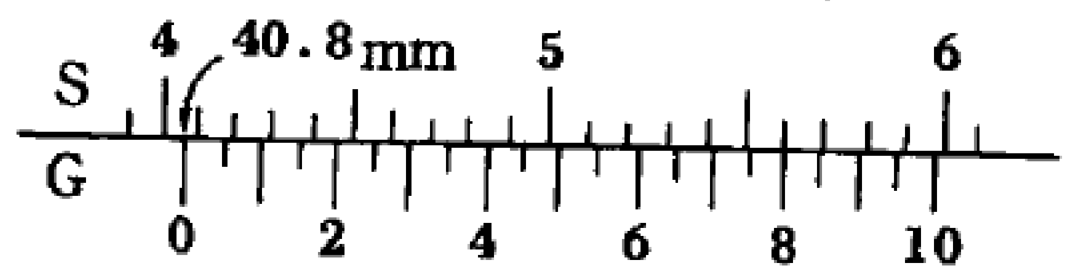


圖 12 — 103

使用時將欲測之物體夾於*A*，*B*之間（若欲測內徑，則將*A′*，*B′*張於內徑）。然後觀察*S*與*G*之相接處，如圖12 — 103 所示。圖中*G*尺之8恰與*S*尺之56吻合。按*G*刻度之構造20 刻度僅合 19 毫米（即*S*尺之 19刻度），即每刻度爲0.95 *mm*（或謂每格與*S*尺相差0.05 *mm*），今*G*尺 8 與*S*尺 56 相吻合，而*G*尺上 8 與 0 中間含有 16 個刻度，應合*S*尺上之 15.2 刻度，是故*G*尺上之0點應位於*S*尺上40.8（即 56 減去15.2）處，亦即所

測物長應爲 40.8 mm 。由上推知，若 G 尺上之 1 ，2 ，……與 S 尺上某刻度相吻合，則 G 尺上之 0 點與左邊最靠近之刻度（ S 尺上之刻度 ）相差 0.1，0.2………mm 。如圖 12—103 ，G 尺上之 8 對準 S 尺上之 56 ，故 G 尺之 0 點與 S 尺上 40 中間應相隔 0.8 mm ，故 0 點之位置應讀爲 40.8 ，餘類推。

若以數學式子推演，設主尺刻度 4 以後的長度爲 x ，因副尺上每一讀數有兩個刻度，故

$$(8 \times 2) \times \frac{19}{20} + x = 16$$

解出

$$x = 0.8$$

【游騎兵太空船】（ Ranger spaceship ）

游騎兵太空船這個計劃是人類自從三世紀以前伽立略（ *Galileo* ）用望遠鏡研究月球後對月球知識的一大進步。此計劃中，游騎兵送回地球 17,255 張近距離的月球照片，使人類能看清楚月球上 10 吋的小面積，而用世界上最好的望遠鏡僅能區分月球上 0.5 哩大小的物體。游騎兵七號至九號是此計劃的最後幾個，它們在離月球廿分鐘時開始拍照一直到它們碰毀在月球上爲止，其攝影裝置約 5 呎直徑，裝置於一約長 8 呎六角形底架上，它的太陽電池像翼一般伸展出 $10\frac{1}{4}$ 呎，游騎兵約重 805 磅。

【游離】（ Ionization ）

將原子或分子軌道上的電子分離，使原子或分子形成帶電的離子，這種過程稱爲游離。使原子或分子游離的方法很多，例如加熱、加高頻率電磁場、用電子槍轟擊，或利用其他帶電粒子的轟擊等。通常帶電粒子通過物質時，即因發生游離而逐漸失去能量。

游離的過程一定要輸入能量予原子或分子的一個外圍電子，使其有充分的能量離開原子或分子，此能量稱之爲游離位（ *ionization potential* ）。例如氫原子的游離電位爲 13.54 伏特。

【游離比度】(Specific ionization)

一個離子通過某種物質，在其通過的徑迹上每單位距離所形成的離子對的數目稱爲游離比度。

【游離光譜儀】(Ionization spectrometer)

將各種金屬發出的X光射線用晶體予以折射入游離室內觀察的儀器(如圖12—104所示)，不僅可比較各種金屬光譜的不同，亦可探測晶體內部的構造。爲布勒格(*W.H. Bragg*)首先設計成。

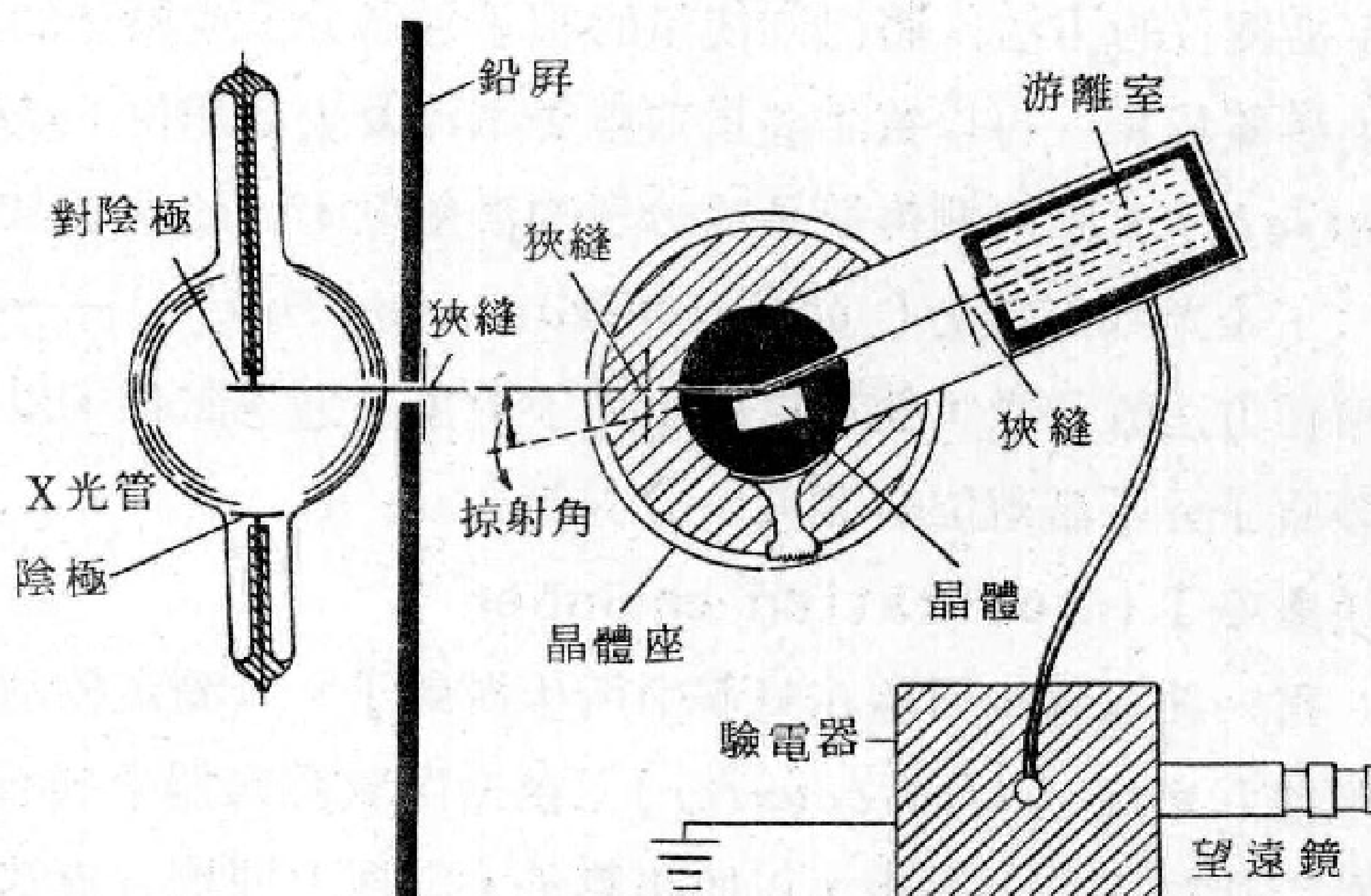


圖 12 — 104　游離光譜儀

【游離位】(Ionization potential)

當不同的原子或分子游離時多需一定的最少能量，這種能量稱爲游離位；用電子伏特(*eV*)表示。從一中性原子中移去一最鬆鍵的電子，所需的能量，稱爲第一游離位。移去離子中次鬆鍵的電子，所需的能量，稱爲第二游離位；以此類推。在各種元素中，氦的第一游離位最高，有 24.46 *eV*；銫(*Cs*)最低，爲 3.87 *eV*。

量度原子與分子的游離位主要的方法有三種：

1. 光譜法——是在觀察電子躍遷所造成的芮得柏系(*Rydberg series*)譜線，這系的譜線均發生於紫外光區域；分析其譜線，可以算

出原子的基態。由這種方法可以相當精確地測出雙原子分子及多原子分子的游離位能；但如果光譜過於複雜，芮得柏譜線難以分析時往往會遇到困難。

2. 電子撞擊法（ *the electron-impact method* ）——是常用以測定游離位的方法。將已知能量的電子通過分子或原子的氣體中，使之發生游離現象。再以質譜儀量取離子電流及表觀電位（*appearance potential* ），即可測得原子或分子的游離位，但此法不甚精確。

3. 光致電離法（ *photoionization method* ）——實際上採取以上兩種方法的長處，使用單能量光子射束，通過試樣，以量度游離能，對多原子分子游離位的測度十分方便。

【游離室】（ Ionization chamber ）

爲一種收集輻射線在氣體中所生游離子，以測定輻射線強度的充氣計數器（ *gas-filled counter*）。在密閉氣體容器中裝有直流高電壓（約數百伏特）之一電極，以收集離子，電極上連接一適當的電流計。當帶電粒子通過時使氣體分子游離，電流計即可量出相當於所收集離子數目的電流。如在空氣中大約 35 eV 的能量即可游離一對離子，假如入射帶電粒子失去 1 MeV 的能量，大約可以產生 2.86×10^4 對離子。通常游離室收集游離子的數目有一飽和值，如超過此值，即當發生因二次游離而增加離子的現象時，則不能稱之爲正常的游離室。游離室也可用以測定不帶電的粒子，例如測定 γ 射線和中子等。當快速中子經過游離室，可從中子與質子碰撞而產生的回

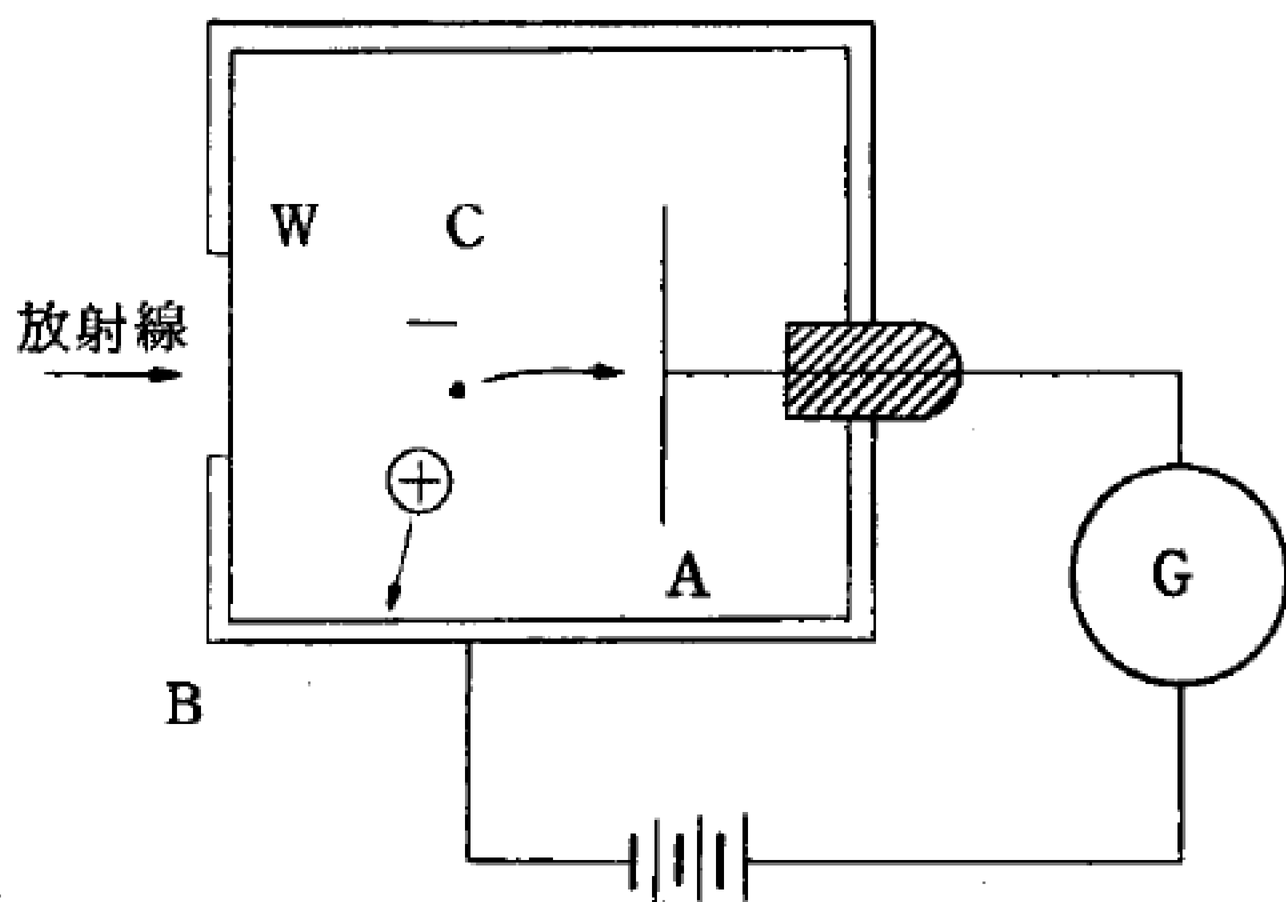


圖 12 — 105　游離室之構造

跳電子的游離作用測定之，慢中子可用覆硼游離室測定之，利用慢中子與硼核反應而產生α粒子的游離作用。

構造如圖12—105所示，由金屬製成之小室C內充以某種氣體，A極與一直流高壓電源之陽極相接，金屬外殼B與陰極相接，當放射線由窗口W射入時，使室內之氣體游離而導電，可由一極靈敏之電位計讀出其電流之大小，從而測得輻射之強弱。

【游離室計數器】(Ionization counter)

游離室計數器係因游離室只能測出由於多數放射線質點所生的總電荷，而不能計數個別質點。故待眞空管放大技術發達後，由於個別質點的游離可加以量度，從而可以計數入射質點的數目之計數器。

一個α質點在一氣壓之空氣中，就1厘米長之距離言，可以製造20,000～70,000離子對，質子則能製造10,000～15,000對，電子能製造40～300對。因此，若給一小型游離室連結以比例放大器，由其輸出電力之大小，可給此諸質點加以區分。當α質點或質子通過游離室之射窗進入游離室內時，因其游離作用，室內將產生許多電子。此諸電子，在加於游離室上之電位V（240伏特）之作用下，即聚集於法拉第(*Faraday*)箱。法拉第箱與射窗間之距離爲2～15毫米。法拉第箱的負電位，係加在具有放大性眞空管之柵極，在該處所生的電壓脈衝，經特別設計的比例放大器，使之更爲增大。是以，當一個質點通過游離室時，在電路的輸出側可得100伏特左右的電壓脈衝。此項脈搏可以固有振動週期甚短之示波器(*oscillograph*，5,000赫兹)檢查之。其振盪，常用移動的照相底片，以光學方法攝下，以備分析之用。由於比例放大器設計的適當，其振盪長度恰與在游離室內的離子數成正比。於是由分析記錄，即可區分質點。

【游離事件】(Ionizing event)

產生一個或一群離子的事件。例如帶電粒子通過物質時即能發生游

離事件。

【游離能】(Ionization energy)

撞擊原子，使其中的電子脫離原子核的庫倫(*Coulomb*)力場範圍成爲離子狀態時，所需的最低能量，稱爲游離能。其間的狀態，稱爲游離態。

【游離層】(Ionosphere)

或稱電離層，是在距地面50至200 哩高的區域內，離子體密度約每立方厘米10^6個離子及電子，其離子是由太陽而來的輻射因光致電離(*photoionization*)效應而產生，離子因復合過程而減少，故離子體密度隨晝夜而改變。對於入射波長較長的電波，這種帶電的上層大氣，就產生如鏡子反射光線的作用一樣，使長波電波反射(如圖12－106)。數十年來，人們曾利用那幾層帶電的大氣，將老式無線電波(1910 年左右)作越洋傳播而通信。唯一能夠使電波依隨地球的曲度傳播者只有依賴上層大氣反射一途。但因微波或短波可以直接穿過這層帶電的大氣層而不被反射折回，因此我們仍可以利用微波或短波和太空船衛星傳遞消息。

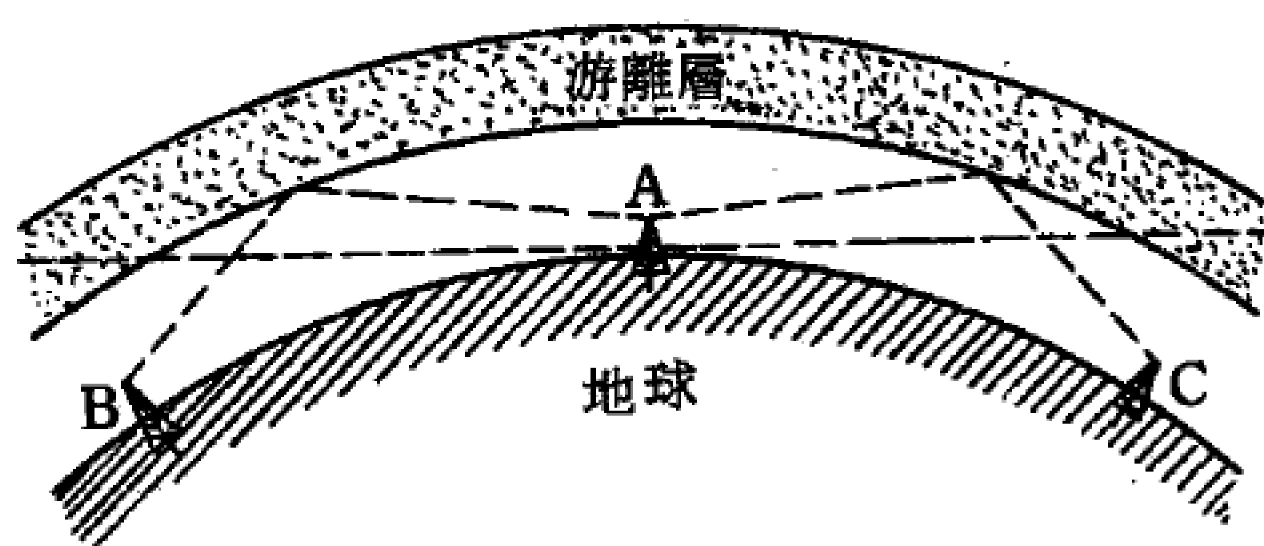


圖 12 — 106
游離層反射無線電波，使之沿地球曲度內進行，如長波電波自A抵達B與C之情形，短波則能穿過此層而直離地球而去。

【游離輻射】(Ionizing radiation)

能將電子從原子或分子中移去，因而產生離子的任何輻射稱爲游離輻射，如α、β、γ輻射，波長較短的紫外光。游離輻射能對皮膚或組織產生嚴重的傷害，這是因爲游離輻射能給與分子太多的能量以致於引起分子本身的振動而分開，不但造成了離子而且也造成了高能量不帶電

的分子片叫做自由基（*free radical*）或叫根。

游離輻射在染色體上直接的效應是相當嚴重的。足夠的化學結合鍵也許會裂開以致於一個染色體被高能波或粒子的打擊而分裂成碎片。縱使染色體企圖保持本身的完全，但在染色體上的各基因也會被劇烈的破壞而造成突變。

假如僅與直接的打擊有關時，則由輻射的影響所引起的危險性較小，因爲此種直接打擊的情形較少。然而，若射中其附近亦有致命的危險。少量的輻射也許打擊在某基因旁邊的一個水分子並且擊裂水分子而形成自由基，此游離根所具有之能量幾乎足以與任何它所碰撞到的分子起化學變化。假如在其能量消失之前湊巧撞到鄰近的基因，則必產生突變，正如本來的輻射所具的效應一般地危險。

更進一步地，游離輻射（特別是電磁一類的輻射）趨向於具有滲透力，身體的內部與外表一樣是暴露於此種輻射之下。生殖腺不能遮住X射線、γ射線或宇宙粒子的照射。

所有這些輻射均能引起軀體突變，例如癌症。更嚴重的是它們均足以增加基因突變的速率，因此它們的存在，實足以威脅著將來的後代子孫以及現在所有易受侵害的個體。

【游離機率】（Ionization probability）

當某粒子通過某種氣體使該氣體產生游離現象時，其游離效率與該粒子的動能有關。

設某粒子通過氣壓爲1毫米水銀柱的氣體，行經1厘米的距離，氣體產生的離子對（*ion pair*）數，爲該粒子初動能的函數，又稱爲此粒子在該氣體中的游離機率。

【減交流音線圈】（Hum-bucking coil）

一具與電動揚聲器磁場線圈有磁性耦合之小型線圈，目的在減弱或消滅交流音。

【減光器】(Dimmer)

利用可變電阻控制燈光，舞臺上調節光度用。

【減速】(Slowing down)

粒子與原子核多次碰撞後動能減少的現象。

【減速度】(Deceleration)

粒子的速度若隨時間而逐漸變慢，我們便說它具有一個減速度。

【減速電位】(Retarded potential)

由在位置 $\vec{r}-\vec{R}$ 與時間 $t-\frac{|R|}{c}$ 的電荷電流所產生的電位。

【減速電場】(Retarded field)

在時間 $t-\frac{|R|}{c}$ 時，位置在 $\vec{r}-\vec{R}$ 處的電荷電流所產生的電磁場。

【減速劑】(Moderator)

即緩速劑。

參閱“緩速劑(*Moderator*)”條。

【減速輻射】(Retarding radiation)

即制動輻射。

參閱“制動輻射(*Bremsstrahlung*)”條。

【減幅波】(Damped wave)

凡電波發射，於每一組中，其振盪波幅度達一最高點後，漸漸衰減，我們稱之爲減幅波。

【減幅波發射】(Damped wave transmission)

即發報機發射無線電波振幅逐漸減縮，凡火花隙式發報機等所發出電波即屬之。

【減壓電阻】(Voltage-reducing resistor)

利用電阻器與負荷電阻串接，將電壓由 E_0 減到 E_L，倘電源內阻甚小，可以不計算時，串聯電阻值的求法如下：

$$R_S = \frac{E_0 - E_L}{I}$$

【減壓蒸餾】(Voltage-reducing distillation)

利用降低液面的氣壓，可使沸點下降的原理，用以蒸餾的方法。

這種裝置，在低溫下可以不改變材料的成分，除去不必要的雜質。化學實驗之際，在高溫下便會變化的物質，就可以利用這種方法。

【湖水之循環】(Circulation of lake water)

如圖 12—107 表示小湖內水流的情形：湖面的水被風向湖的一邊送去，所留的空間，立刻由湖底的水上升來填補。同時湖另一邊的水下沉。這樣在風不停止的期間內，湖水老是沿著箭示的方向循環流轉不息。

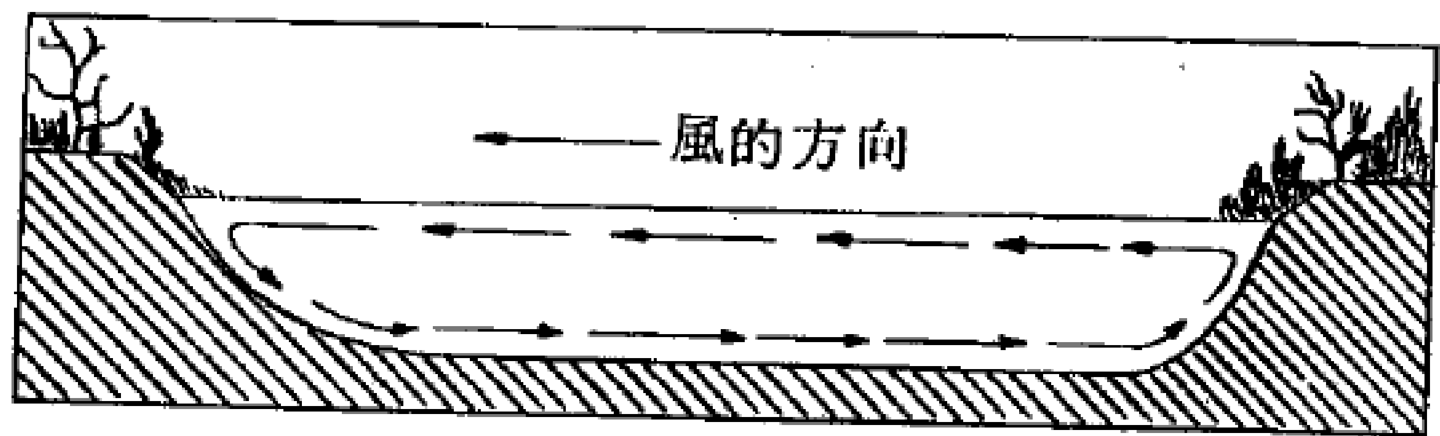


圖 12—107

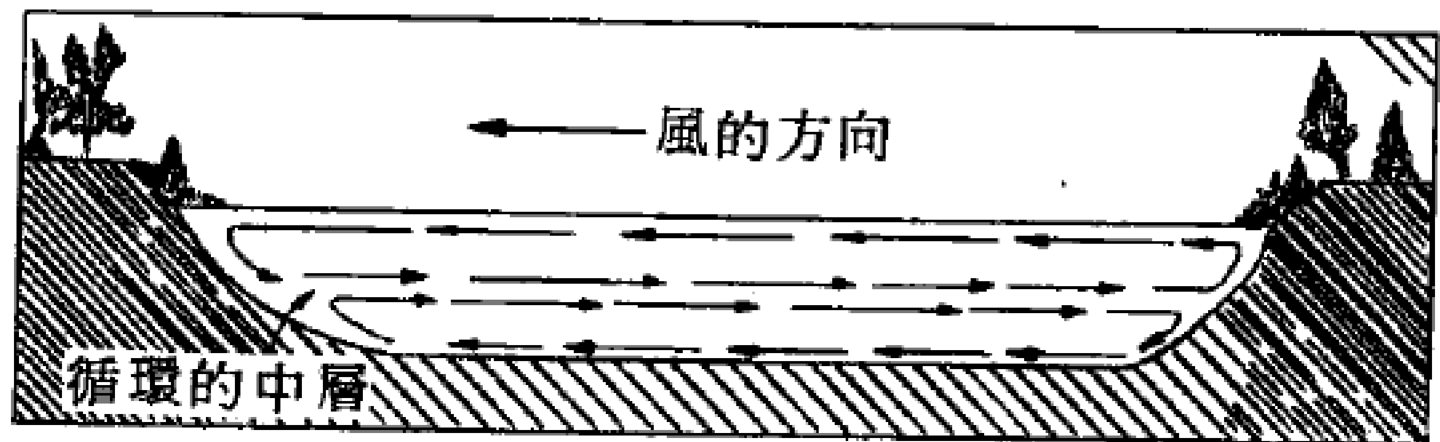


圖 12—108

圖 12—108 表示大湖內水流的情形：大湖內的水通常有兩層循環。在夏天的時候，湖面的水被太陽曬暖而變輕，於是同前被風向湖一邊送去的水流，因輕於湖底的冷水，故不會沉至湖底，而卻在底層冷水的上面自行循環。同時此種在上層循環的水流，把下層冷水的水面帶了流走。這樣湖底又發生一組循環。

【測比重法】(Measurement of specific gravity)

測物體比重之法，全根據於阿基米德原理，測固體比重之法，可分爲三種：一爲較水重者；一爲較水輕者；一爲溶解於水中者。

1. 測較水重之固體比重法——先以固體置空氣中，衡其重量，得 W，次入於水中，衡其重量，得 w，則 $W-w$ 爲與固體同容積之水重，

令比重爲S，則得$S=\frac{W}{W-w}$ 。

2. 測較水輕之固體比重法——以一小錘附於固體之下，令能沉於水中，先僅將錘入於水中，衡其重量，得W'，次將固體置空氣中，衡其重量得W，再將固體結於錘上，沒入水中，衡之，得其重量爲W''，則$W+W'-W''$爲與物體同容積之水重，令比重爲S，則得$S=\frac{W}{W+W'-W''}$ 。

3. 測溶解於水之固體比重法——此時不用水而用固體不能溶解之液體，如上法求其對於此液體之比重，以此液體對於4°C之水之重量乘之，則得其比重，即比重＝（物體對於液體之比重）×（液體之比重）。

4. 測液體比重法——選擇一液體不能溶解之固體小片，衡其重量，得W，入水中衡之，得其重量爲W'，再入液中衡之，得其重量爲W''，則$W-W''$爲固體在液體中所失之重，即與固體同容積之液重，$W-W'$爲固體在水中所失之重，即與固體同容積之水重，故令液體之比重爲S，則得$S=\frac{W-W''}{W-W'}$。

測比重時，若水之溫度不等於4°C，而爲t°C，則可於測得比重之後，以t°C之水之比重乘之，即得其物體對於4°C水之比重。

【測比熱法】（Measurement of specific heat）

測比熱法最通用者爲混合法，即以欲測比熱之物質，熱至若干度，投入一定溫度一定量之水內，俟其溫度相同後，由物質之量、溫度、水之量及水之前後溫度，即可計算得比熱。如取欲測比熱之物質m克，熱之，使其溫度升至t度，投入於質量m'克、溫度t'度之水內，則物體之溫度降，而水之溫度升，其時之混合溫度爲T度，令物質之比熱爲C，則物質所失之熱量爲$Cm(t-T)$，水所得之熱量爲$m'(T-t')$，二者相等，故得

$$Cm(t-T)=m'(T-t')$$

$$\therefore \quad C = \frac{m'(T-t')}{m(t-T)}$$

【測不準原理】(Uncertainty principle)

在物理學中只有能測得之量才有實際的意義。若以“超級”顯微鏡觀察原子中的一電子，看到它沿軌道運行，即可聲稱這類軌道有意義。依照古典力學的觀念，一個運動物體的位置和動量兩者都可以同時很準確地測量出來，由已知物體最初的位置和速度，可以預料它以後運動的軌跡和能量。但是，證明的結果即使可以造出最理想的儀器也根本不可能作此種觀察。因此，我們可稱這類軌道並無物理意義。

利用日光的反射，觀察月球繞地球運行。因光傳遞線動量予反射光的物體，雖然光的擾動效應很少，在原理上，此反射光將擾亂月球的軌道。

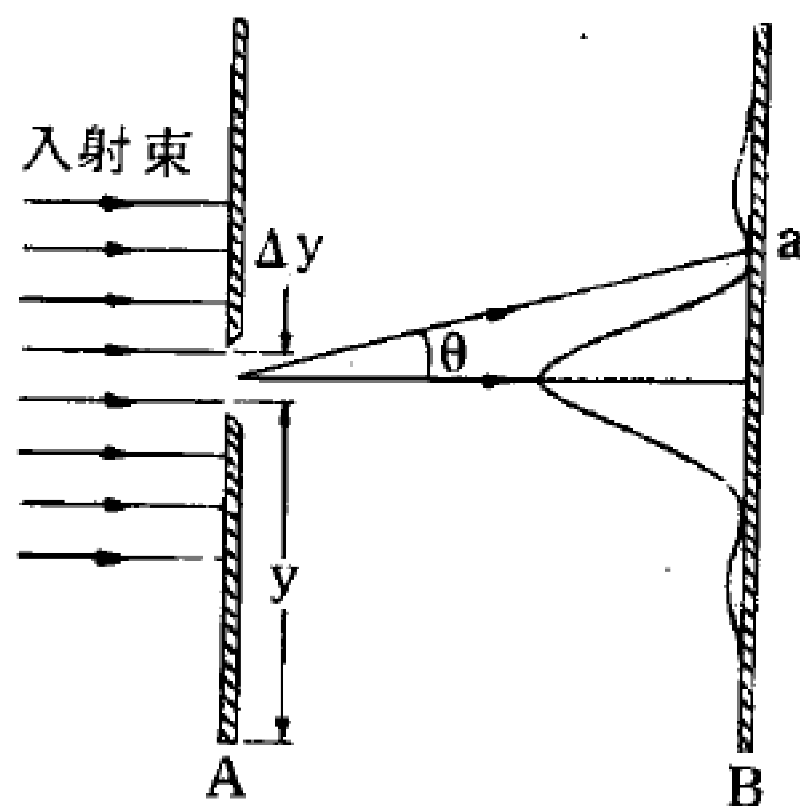


圖 12 — 109
入射電子束在屏A上的狹縫處繞射，於屏B上形成一典型的繞射圖案。若狹縫愈窄，則圖案愈寬。

就電子言，情況頗不相同，必須藉反射的光或其他粒子才能“看”到電子，當光（光子）自電子彈回時，電子因反跳而完全改變其運動，這種改變既不能避免更不能修正，所以測量出來的結果並非作測量時的眞實情形。

測不準原理即是說明不能以古典方式描述電子的運動的這項事實，海森堡於 1927 年提出此原理。欲推導此原理，試考究單能量的電子射束，如圖 12 — 109 所示，以速率 v_0 自左向右運動。現欲測定一電子在垂直 y 方向的位置及其在此方向的速度分量 v_y。若完成此等量度時達無限的精確度，即可宣稱獲得精確的位置和電子的運動速度（或至少其中一分量），然而，我們將知欲同時無限精確作這兩種量度乃不可能之事。

欲測定 y，須以吸收屏 A 擋住射束，屏上有一狹縫寬 Δy，若電子通過狹縫，其垂直位置應在縫寬的精確度內。使狹縫變窄，當可隨心所欲地改進垂直位置量度的精確性。

因電子是波，在狹縫處進行繞射，在圖 12 — 109 中的 B 處置一照相底片可攝得典型的繞射圖案。有此繞射圖案意即從狹縫射出的電子所具的速度 v_y 值有不確定之量，令 v_{ya} 爲對應於落在屏上第一極小之電子的 v_y 值，該處在屏上 a 點，角度爲 θ_a。取 v_{ya} 爲從狹縫射出電子之 v_y 的粗略不確定量 Δv_y。

由繞射圖案的第一干涉暗紋，我們可知

$$\sin\theta_a = \frac{\lambda}{\Delta y}$$

若假設 θ_a 甚小 $\sin\theta_a \to \theta_a$，此式可寫爲

$$\theta_a \cong \frac{\lambda}{\Delta y} \qquad (1)$$

欲使電子到達 a 點，v_{ya} ($= \Delta v_y$) 應爲

$$\theta_a \cong \frac{\Delta v_y}{v_0} \qquad (2)$$

合併 (1) 式和 (2) 式得

$$\frac{\Delta v_y}{v_0} = \frac{\lambda}{\Delta y}$$

此式可改寫爲

$$\Delta v_y \Delta y \cong \lambda v_0 \qquad (3)$$

因電子射束的波長 λ 爲 h/p 或 h/mv_0，代入 (3) 式得

$$\Delta v_y \Delta y \cong h v_0 / m v_0$$

改寫即爲

$$\Delta p_y \Delta y \cong h \qquad (4)$$

在 (4) 式中，Δp_y ($= m \Delta v_y$) 爲電子垂直動量的不確定量；Δy 爲其垂直位置的不確定量。此式告知此二不確定量的乘積既爲常數

，我們即無法同時測定 p_y 與 y 達無限制的精確度。

若欲改進 y 的量度（即欲減少 Δy），可用較狹之縫，但是〔見（1）式〕這會造成更寬的繞射圖案。繞射圖案愈寬表示電子動量之垂直分量的精確性降低，即 Δp_y 增加；這正是（4）式所表者。

由（4）式加之於量度的限制與量度儀器的精密與否並不相干，可假設有想像得到之最精密的量度儀器，而（4）式表示者爲由自然所安排的根本限制。

（4）式是一般測不準原理在特例時的推導結果，用於位置和動量的量度時則爲

$$\Delta p_x \Delta x \geqslant h$$
$$\Delta p_y \Delta y \geqslant h$$
$$\Delta p_z \Delta z \geqslant h \qquad (5)$$

因此 x 不論電子爲自由或束限者，描述其運動的分量不能達到無限精確的程度。

浦朗克常數 h 出現於（5）式中時意義最爲深刻，若乘積不爲 h 而是零，則有關粒子和軌道的古典觀念便屬正確；即可同時無限精確地測定動量和位置。有 h 出現意即古典觀念錯誤；h 的大小告知在何種狀況時應以量子觀念代替古典觀念。

例如一電子速率爲300米／秒，準確至0.010％內。則電子的動量爲

$$p = mv = (9.1\times10^{-31}\text{仟克})(300\text{米/秒})$$
$$= 2.7\times10^{-28}\text{仟克米/秒}$$

動量的不確定量爲此值的 0.010％，即

$$\Delta p = (0.00010)(2.7\times10^{-28}\text{仟克米／秒})$$
$$= 2.7\times10^{-32}\text{仟克米／秒}$$

由（5）式得位置的最小不確定量爲

$$\Delta x = \frac{h}{\Delta p} = \frac{6.6 \times 10^{-34}\text{焦耳秒}}{2.7 \times 10^{-32}\text{仟克米/秒}} = 2.4\text{厘米}$$

若測定電子動量眞達到所述的精確度，則欲測其位置至所述一吋範圍內的精確度絕對無望。在此等情況下，電子爲一小點的觀念毫無效用。

測不準原理也可以示知何以光和物質均能有波、質點的二重性。因爲這兩種觀點顯然完全相反，使得在同一實驗情況時無法同時並存。若模擬一實驗使電子強烈顯現其波的特性，則其粒子特性恆掩藏不露；若修改實驗使粒子特性顯露，則其波動特性必然變爲晦暗。

【測加速度器】(Accelerometer)

測量加速度之儀器，亦即加速器針。最簡單之測加速度器，係將較小重物由彈簧固結於一個支架上，重物受管或凹槽所約束在固定方向上移動，加速度乃可測出。

【測向儀】(Direction finder)

發射臺發出固定電波，測向者利用環狀天線，當與電波相垂直時，得到最強信號，如此可以確定所收電臺的方向，如使用兩個測向臺，則不只測得方向，而且可以確定其地點，因爲被測電臺必在兩測向臺確定兩方向的交點的。

【測厚儀】(Thickness gauge)

對於半成品如薄鐵片、塑膠板以及蓄電器用紙版等，常利用此類儀器在製造過程中隨時檢定之，以調整品質之厚薄。尤有進者，在精密操作及減低成本方面導致製造過程須自動化或半自動化。尤須裝置此種偵測儀隨時向控制中心發佈必要的信號。

測厚儀(包括密度測定儀及液面測定儀等)尤其對於液體方面諸多問題亦頗合用。而主要優點在於確保不直接與欲測物本身接觸。此種裝置已日漸推廣。在下表中所列各種型式之測厚儀均使用放射性同位素，並標明其名稱及測定之範圍。

各 種 測 厚 儀 及 測 厚 範 圍 表

α 射線測厚儀			
射線源	測厚範圍		
鈾 (*uranium U*)	1～25 g/m^2		
鐳 (*nadium Ra*)	1～60 g/m^2		
β 射線測厚儀			
射線源	測厚範圍(精密度1%)		
	感應時間0.2秒	2 秒	20 秒
鉅 (*promethium* 147)	40～150 g/m^2	14～150 g/m^2	4～150 g/m^2
鉈 (*thallium* 204)	200～1,500 g/m^2	70～1,500 g/m^2	20～1,500 g/m^2
鍶 (*strontium* 90)	600～5,500 g/m^2	200～5,500 g/m^2	60～5,500 g/m^2
鈰 (*cerium* 144)	1,500～12,500 g/m^2	500～12,500 g/m^2	150～12,500 g/m^2
γ 射線測厚儀			
所測可至若干厘米鋼板厚度			

1. α 射線測厚儀 (*gauge α*)——只可測定薄的試件，此型儀器是利用放射性同位素之穿透性。

2. β 射線測厚儀 (*gauge β*)——此型儀器可利用穿透性，亦可利用反散射性 (*back diffusion*) 可以測定在行動中產品的中等厚度，如紙張、紙版、塑膠物、橡皮、薄鐵皮等。

3. γ 射線測厚儀 (*gauge γ*)——穿透性及反散射性均可利用，可透過數十厘米厚之鋼板。

有兩組因素影響此儀器之安定性，第一組因素爲不準確之變化情形

及電子儀器之裝置種類。第二組因素爲外在的壓力、溫度、濕度，包括偵測儀之幾何型式之變化。玆分述如下：

【Ⅰ】電子儀器之安定性

利用電流之裝置主要部分不外使用直流電於放大器（*amplifier*）。故須注意裝置中電壓之穩定、選擇器之調整、同位素適當能量之傳遞及嚴格控制元素之品質。

在用電流光電倍增器（*photomultiplier*）之場合，爲補償不準確之變化起見，可能使用自動參比裝置（*apparatus of automatic calibration*）。此裝置同時可以解決外在的變化問題。此類裝置系統甚多，玆舉兩種略加說明：

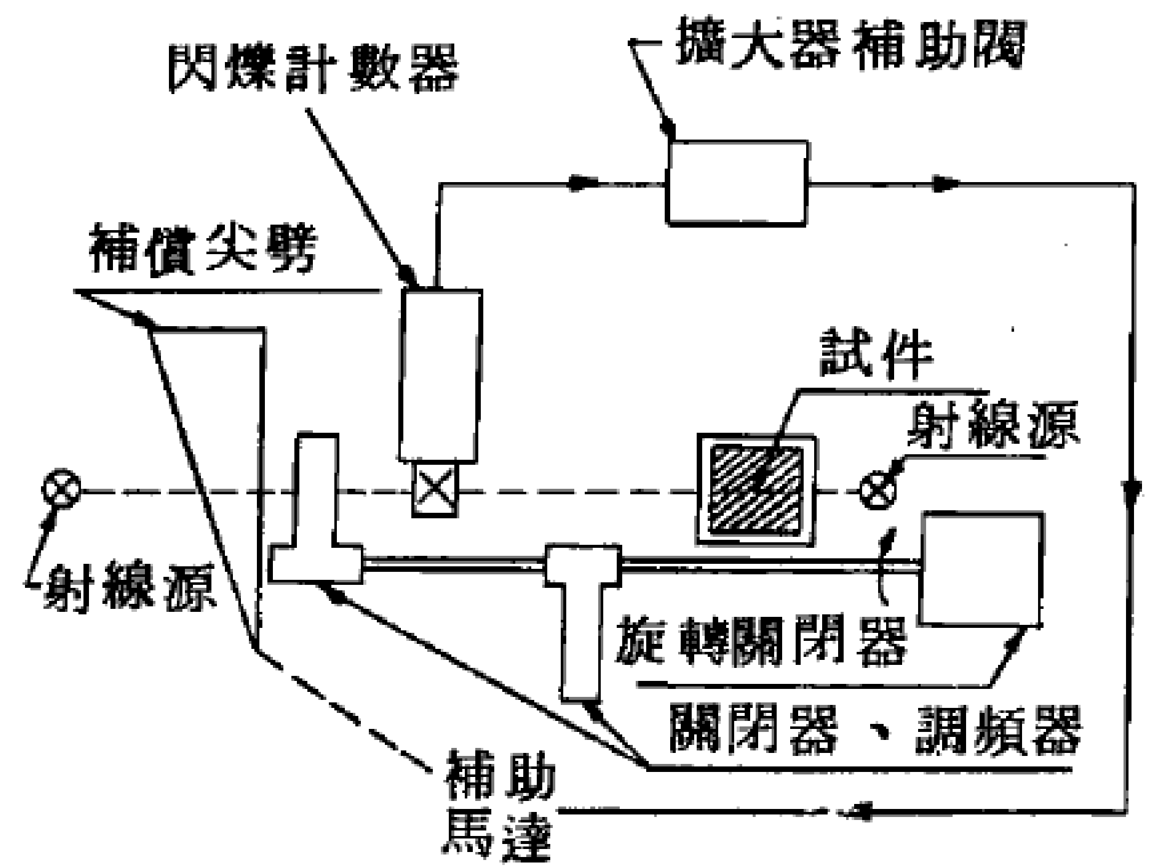


圖 12 — 110　瑞斐爾差率式測厚儀

1. 瑞斐爾（*Reiffel*）差率式測厚儀（*differential gauge*）——見圖 12 — 110，閃爍計數器（*scintillation counter*）一方面繼續收受由射線源透過欲測物體之放射線。另一方面又收受由參考射源（*reference source*）經過補償尖劈（*wedge compensator*）而來之放射線。此外有旋轉關閉器（*obturator*）確使光束被掩蔽。又有一補助閥（*servo-valve*）比較繼續由計數器發來之電流數，其差誤之信號可命令補助馬達（*servo-motor*）轉移補償尖劈之位置至電流重行相等爲止。此設備可求得厚度之直線方程式，且可改善儀器之安定性及精確度。

2. 桂玆利（*Guizerix*）調幅式測厚儀（*modulation gauge*）——見圖 12 — 111，此設備之測定用射線源及參比用射線源相同。測定用的射線束穿過欲測物，隨後用一旋轉遮板在其抵達閃爍計數器前加

以調幅，而參比用射線束則僅在轉達計數器前調幅。於是計數器週期性之發出相當於此二射線束強度的電流 I_1 及 I_2。由一普通電位計便可指出比值 Q：

$$Q = I_1 / I_2$$

即表示出欲測物厚度之變化。

在 I_1 及 I_2 值中顯出自偵測系統之偏差，若在 $I_1 = KI_2$，則可消除之。在此情形下，曲線 $I_1 = f(p)$ 及 $I_2 = f(p)$ 均甚精確，其中 p 為有關安定度之參變數（*parameter*）。此儀器有如下之改進處：

(1)所施之電壓在1,700～1,750伏特時，對直接測定系統改進65%；對調幅系統改進0.8%。

(2)溫度（10～30°C間）對直接測定系統改進6%（百度計）；對調幅系統改進0.2%。

但此調幅式測厚儀之計數值較前述差率式測厚儀者高。此點可在使用高放射性能量之射線源後可以補償之。

圖 12－111
桂茲利調幅式測厚儀

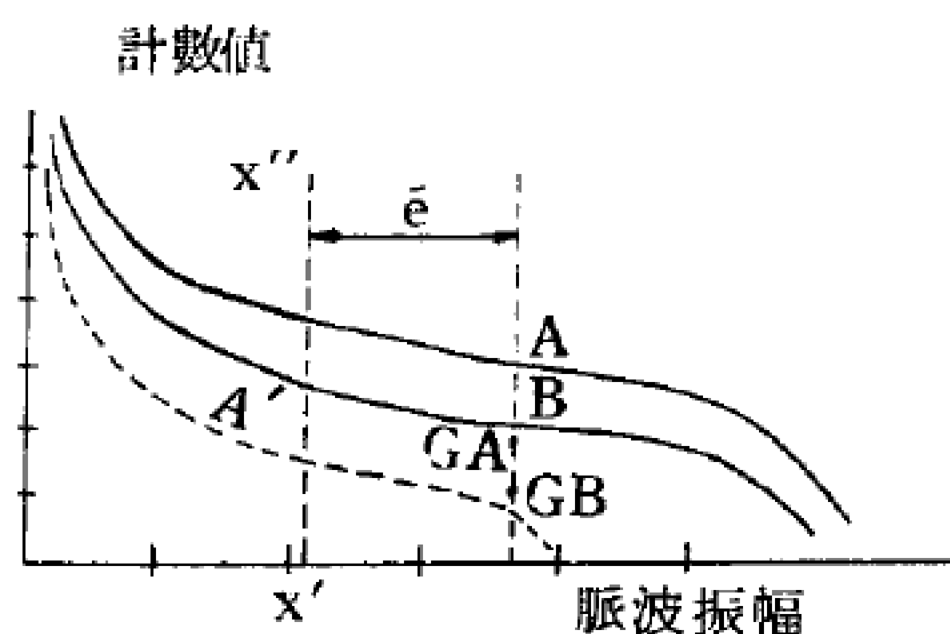
至於用脈波表示之裝置，因須致力於鑑別器（*discriminator*）及積分器（*integrator*）等設備，故靈敏度較差，但偵測儀常成為主要變化之根源。

許多裝置為改進安定性而採用脈波式光電倍增器，玆介紹兩種型式如下：

1.耶波斯坦（*Eppstein*）所改進者——見圖12－112中，用一已知射線源，一厚度為 x 之吸收體，及一具塑膠質閃爍計數器（附光電倍增器）所得之曲線為 A。若厚度變化為

$$x + \Delta x > x$$

則得曲線B。反之，如增益（*gain*）變化，則曲線移向A'，如圖中之點線。今考察曲線包圍之重心位置，及以鑑別器限定$x'x''$為標幟之直線，易見第一場合內，吾人保有相同之橫標，然在第二場合，則有顯著之變化，且脈波之平均振幅在$x'x''$之上，故須使光電倍增器之電壓適於此振幅，即可安定。而如此獲得之安定度為0.5%級，可維持數日之久。



A　1 MeV之β射線遮屏 E_1
B　相同情形但 $E_2 > E_1$
A'　相同情形，增益減弱

圖 12 — 112　脈波振幅圖

若使用比例計數器，在光譜中常出現一尖峯，至少是表示入射線能量之特性。吾人可以直接利用此能量（位於尖峯處者）做為穩定系統之參比。圖 12 — 113 即說明此操作之原理。兩條頻道（*channel* ；*canal*）在尖峯兩側，使計數值在每邊均相等，若在兩頻道間，由尖峯之滑動即失去平衡時，即現出增益之變化，而傳給一誤差之信號。

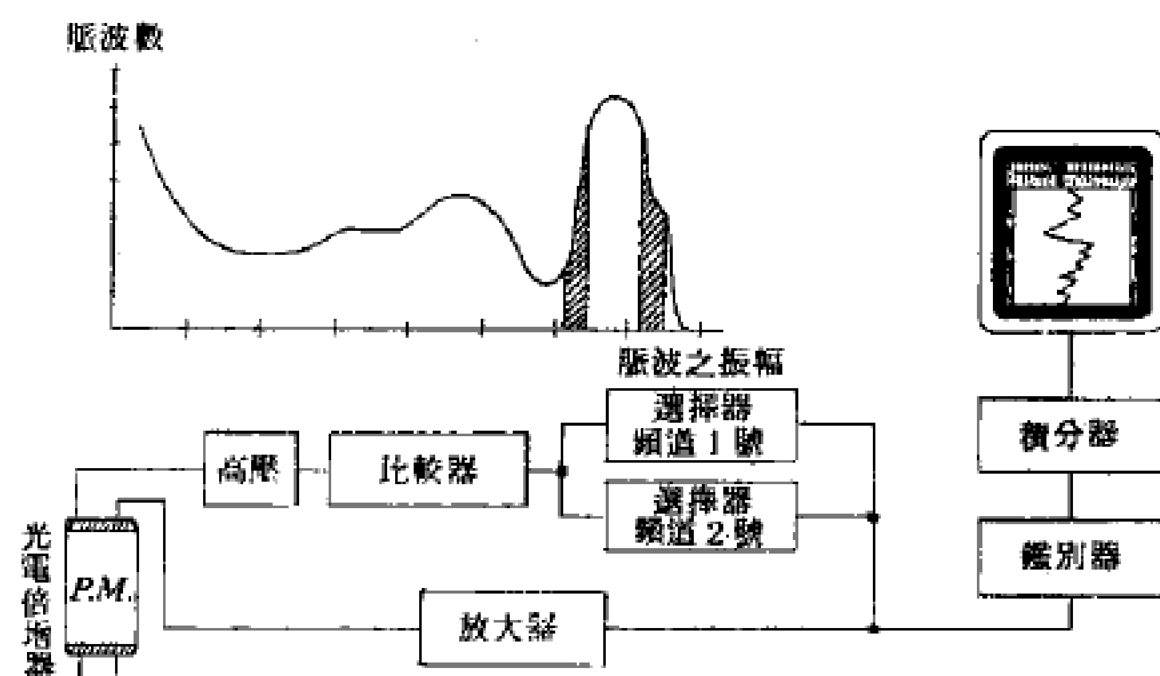


圖 12 — 113　光電倍增器之穩定性裝置

2. 由華爾德（*Waard*）改進之裝置——是僅用一個頻道，由調幅信號有規則地將尖峯一側移至另一側（圖 12 — 114 ）。所用線路較前者簡單，然須改變積分器之線路。

【 II 】外在之變化因素

外在變化對γ射線測厚儀影響不大，但對α及β射線測厚儀則不然

。大氣壓、濕度、溫度均顯著的影響其效應，故應予以考慮。其雖有多種補償系統然各有各的效用，且各有各的參比操作。中以游離室較爲合用，第二室被射線源直接射線照射，或被相同之第二射線源照射。裝置之單位均經選擇務使兩個間隔間之變化均屬相同。此種裝置可自動補償射線源之蛻變。有時爲簡便起見將部分結構，如第二室以電位計代替，此種裝置使用簡便，因只要在電位計上指示正常數字便可在記錄器上直接得到數據，但必有若干外在變化之補償方能正確。

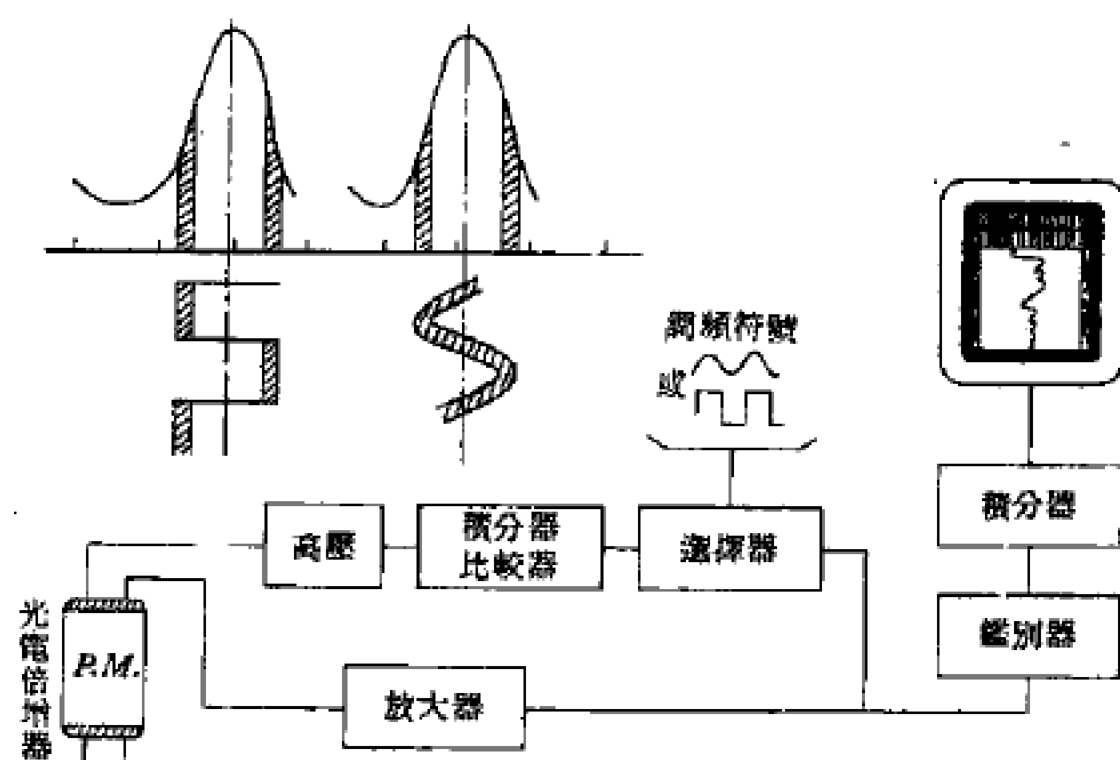


圖 12 — 114
單頻道穩定性裝置

測厚儀之型態取決於各種要求條件：偵測器須固定於機械上、支架，以及溫度、耐振動等等。

射線源偵測器之幾何位置應仔細保持，因儀器之安定度及靈敏度均與之有密切關係。幾何位置變化則參比性失其效用。故通常乃移動欲測物而儀器本身不動。

吸收係數藉瞄準光束可測定，而被照射物元素之散射線及裝置鄰近物之散射線均可抵達偵測器。故偵測器如無光闌設備則厚度之變化將甚難精確測出。因光闌設備僅收受欲測物面積射出之直接射線。故光闌對於反散射測厚儀頗爲重要。因有光闌則在適宜角度下之反散射線可通過，否則便有來自直接射線束及雜亂散射射線亦射入。

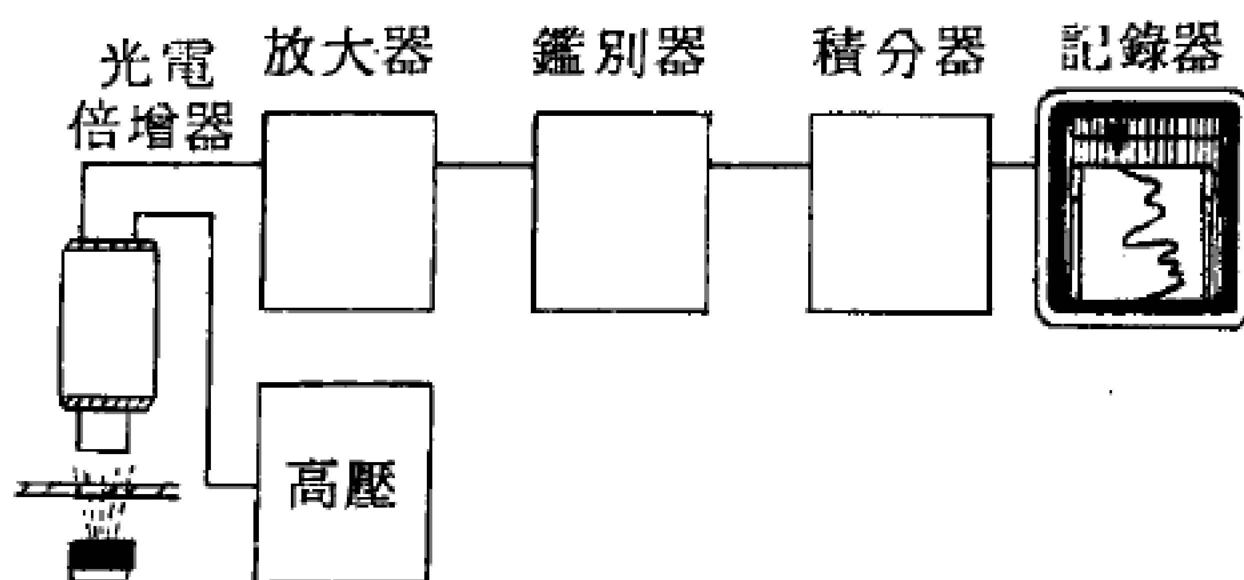


圖 12 — 115　運用脈波之穿透式測厚儀

茲可介紹數種常用之測厚儀：

1. 穿透式測厚儀（ *transmussion gauge* ）——見圖12—115，爲運用脈波之穿透式測厚儀。又圖12—116，爲運用電流之穿透式測厚儀。

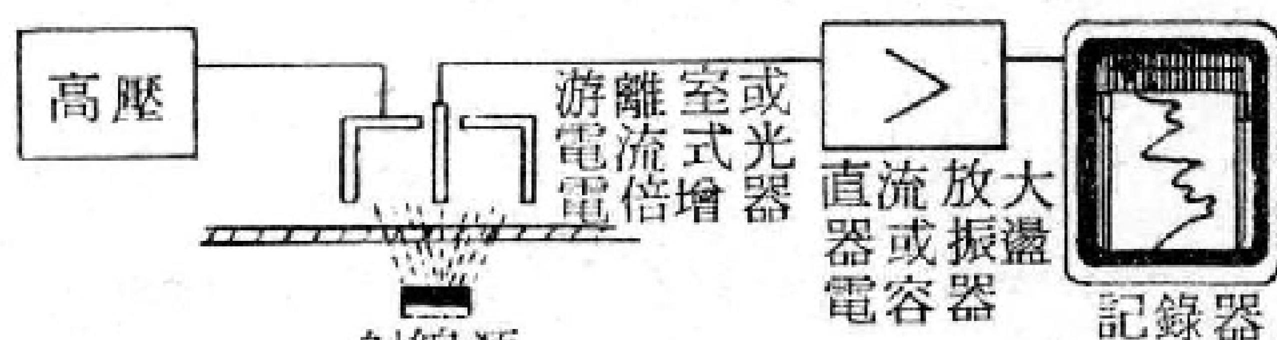


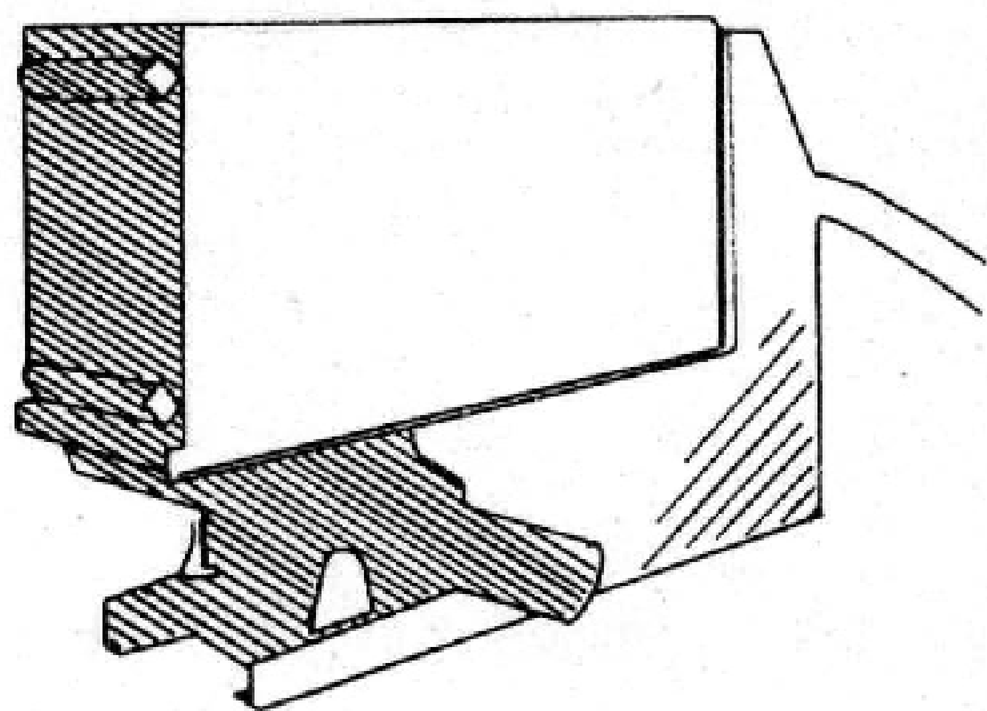
圖 12 — 116
運用電流之穿透式測厚儀

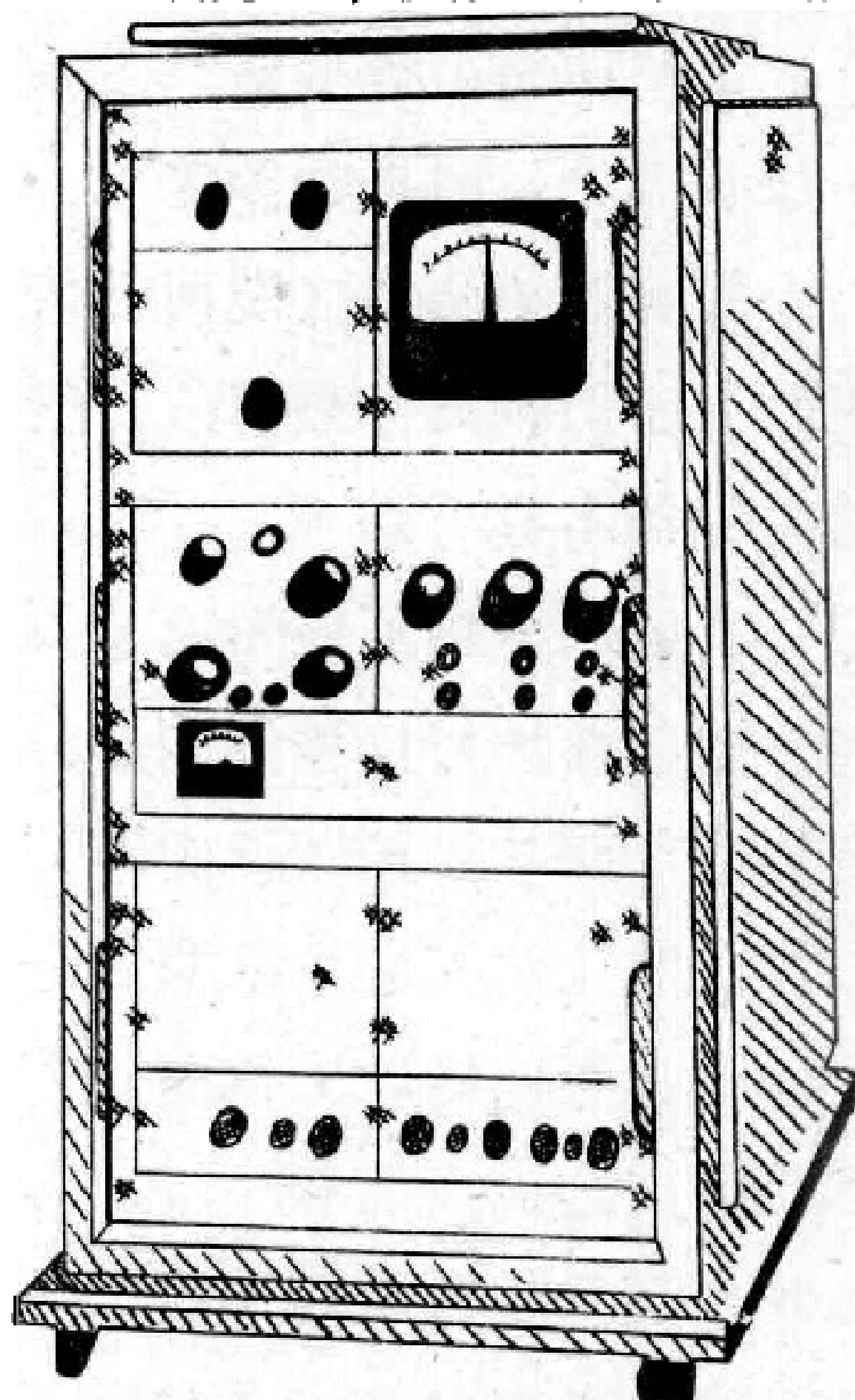


圖 12 — 117
反散射式測厚儀

2. 反散射式測厚儀（ *back-scatter gauge* ）——此種測厚儀防止直接射線。在β反散射式測厚儀中，其射線源被置在圍繞於偵測器之圓環中，見圖12—117。正規的γ反散射式測厚儀用鉛或鎢保護之，再經一通路不使偵測器被射線直接照射，而係轉經一被射線源"照射"之板。

浦特曼（ *Putman* ）設計之測厚儀，射線源極弱僅若干μc，未裝保護設備，偵測器爲一閃爍計數器，連接一振


圖 12—118
梅思可式測厚儀


圖 12 — 119
梅思可式測厚儀（附電子設備）

幅選擇器，僅選擇反射光子能限域內之振幅，並記錄之。二厘米內之鋼板用此儀器可測厚度精確至±4％。

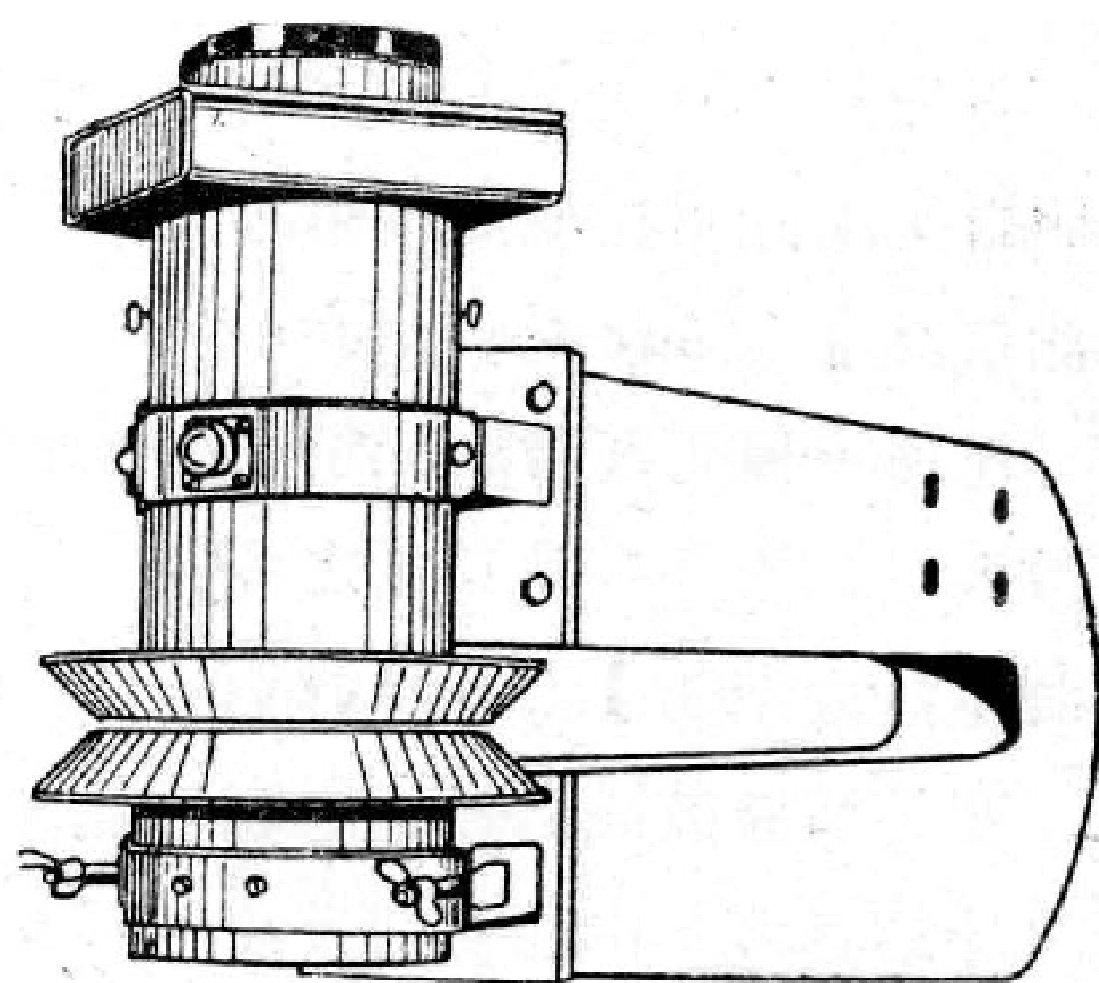
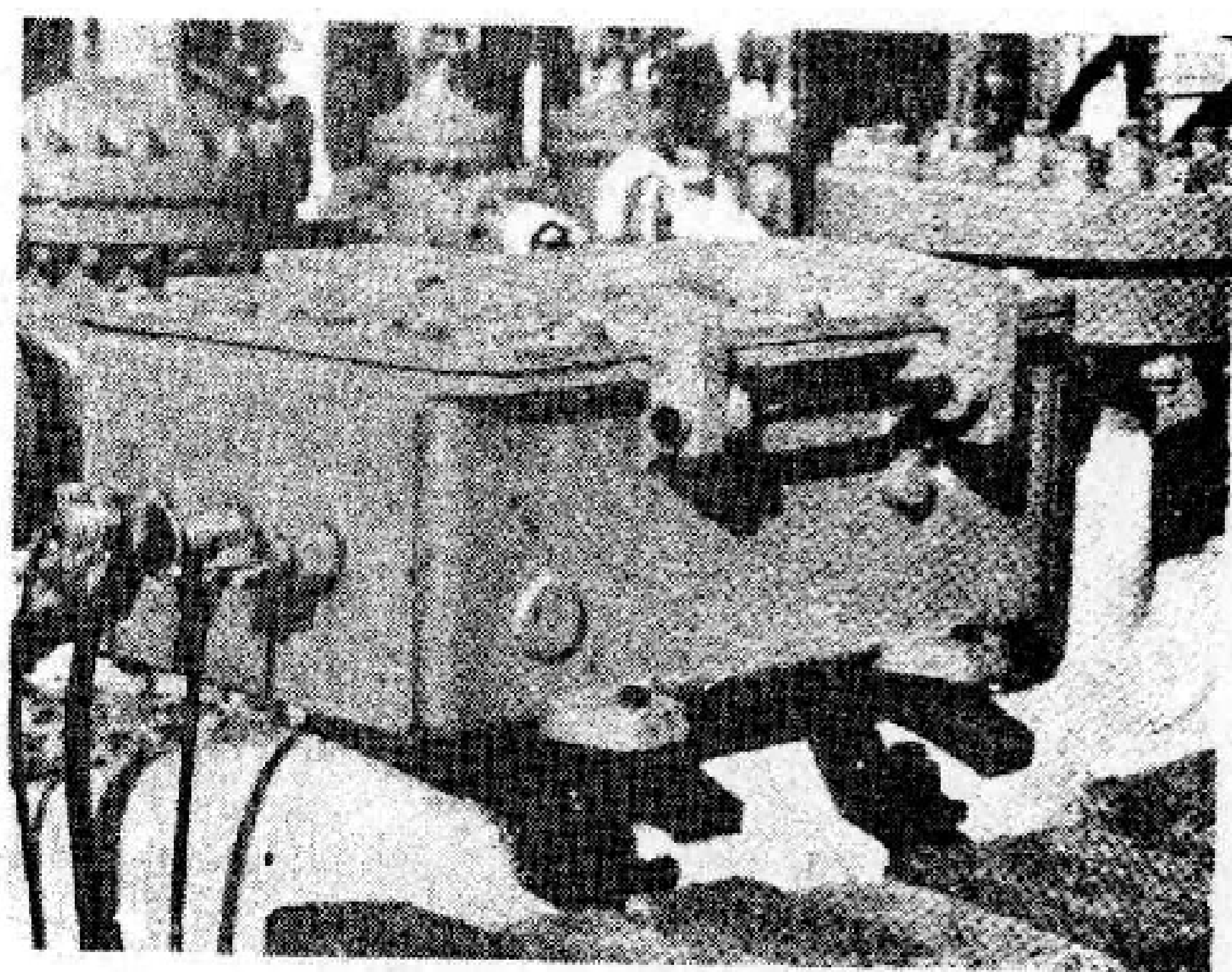

圖 12—120　卡拉通測厚儀

圖 12—118 及圖 12—119 爲梅思可（*Mesco*）測厚儀之首部及其電子設備部分。精確度視情形之不同，由0.4～1％。測定時間由0.2～4秒。

3. 卡拉通（*Caratom*）測厚儀——見圖 12—120 。由游離室輸入交流電，以α射線源可測出十分之幾g/m^2至45g/m^2。若用β射線源則可測厚45～10,000g/m^2。


圖 12—121　調幅式測厚儀

4. 桂茲利測厚儀——見圖 12—121 具有調幅快門（*shutter modulator*）及光電倍增器。

5. 密度測定儀及測厚儀——此儀器有一個鈷-60射線源及一個有 150 kg/cm^2壓力氬（*Ar*）之游離室（較充空氣在常壓下者得250倍之增益）。用振盪電容放大器（*amplifier vibrating capacitor*）可測定電壓，精確度達1/1,000中控制櫃，可補償鈷-60 射線源之衰變量每月約1％。

【測斜儀】（Clinometer）

氣象學中測量雲高、氣球高的儀器。

【測量】(Measurement)

研究科學，常常需要測量。一個新定律大都是用實驗測量的結果來證明的，由此可見測量技術的重要。

【測量計】(Survey meter)

任何一種可攜帶的輻射偵檢儀器，尤其是適合於偵察和巡察某一地區放射材料的存在及其量之多寡。

【測量員太空船】(Surveyor spaceship)

測量員原被設計用以試驗輕軟著陸月球的技術，它先減低太空船接近月球的速度，由每小時6,000哩至每小時3.5哩。測量員帶一個單方向掃描電視攝影機，它的著陸腳上裝有試驗月球表面硬度的儀器。此計劃共發射了七個。測量員一號於1966年五月卅日發射，於六月二日登陸月球，惜因無線電失去控制無法發報。二號於同年九月廿九日發射，但一去不返。三號於1967年四月十六日發射作各項之探測達成預期任務。四號於同年七月十四日發射，與二號一樣一去不返。五號於1967年九月八日發射，中間曾有故障但經克服後達到目的。六號於同年十一月六日發射，全部機件完善，工作良好。七號於1968年一月六日發射，於九日登陸月球後送回許多有價值的照片。測量員七號的主要目的是在月球的高山上收集載人登陸月球的研究資料，以及進一步設法獲得更精確的月球成分的組織，同時期望藉測量員七號的登陸，解答自月球南極高地何以收到特殊的雷達反應等，它得到空前的成功。為登陸月球作了最完善的舖路工作。

【測量電流之器具】(Current measuring instrument)

測量電流之器具，約可分二類，一為測量高頻率電流，一為測量低頻率電流。測量高頻率電流者，因其頻率極高，故恆以熱線安培計(*hot wire ammeter*)或熱電偶安培計(*thermo-couple ammeter*)量之。測量低頻率電流者，因其頻率較低，若以熱線安培計、熱電偶

安培計測量之，頗不適用，故恆以成音度表（ *audibility meter* ）測量之。

【測量範圍】（ Range of measurement ）

指某項測量儀器的量限。

【測距儀】（ Telemeter ）

測距儀是憑兩眼估測景物深度的能力，再用人工設法放大兩眼之距離（ 6至7厘米），以謀進一步的加強。例如陸海軍所用的測距儀，就可將兩眼距離“放大”到 10 米。圖12—122 係簡單表示如何用此測距儀以測量距離之情形。所謂測距儀，是包括一根管子，其長度代表測距儀的基線。管之兩端有開孔 A 及 B，以便接收自遠處被測物射來之光線 L_1 及 L_2。管內有呈 45° 傾斜裝置之反光鏡 S_1 及 S_2，可將射入光線導引至管的中央，再由該處經兩平面鏡 S_3 及 S_4 導至短管 C 後面而達觀測者的眼中。為達此目的，特令平面鏡 S_3 及 S_4 之高度僅及 S_1 及 S_2 二鏡高度的一半，而且相互交叉成直角。實際上，觀測者利用以目鏡為名的放大鏡 Ok 所看見的是目標的兩個像，這兩個像是由裝在管內稱為物鏡的會聚透鏡 Ob_1 及 Ob_2 所造成，而且是互相重疊的。

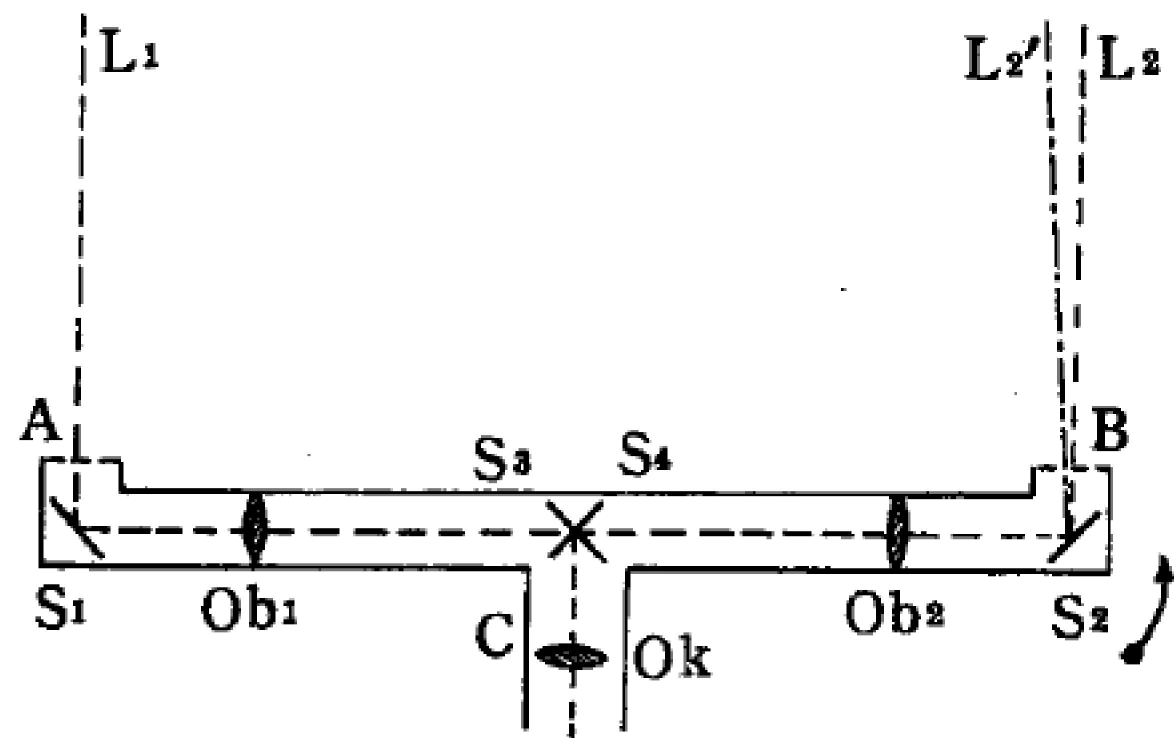


圖 12 — 122 測距儀構造略圖

當反光鏡 S_1 固定時，只有在被測目標之位置極遠致使光線 L_1 及 L_2 互成平行的情形下，才能令反光鏡 S_2 居於 45° 之位置。亦只有在此條件之下，觀測者從平面鏡 S_3 及 S_4 所看見的兩個像才是完全重合的。倘若光線 L_1 及 L_2 係從近處物體發出而並不平行時，則須將 S_2 鏡依反時針方向予以轉動，方可使從 S_2 反射而來之光線再依原來方向射入

S_4鏡。目標愈近，S_2鏡愈須自其基本位置（45°）轉動得多些，兩像方能重合。由於儀器事先經過校準，故由反光鏡 S_2 的必要轉動，即可讀出被測目標之距離。

【測微計】（Micrometer）

凡在物理量度上測量微小距離的精密儀器，我們稱之爲測微計（如圖12—123）。它常裝置在比較儀、測球面儀、干涉儀等儀器上。其構造主要是一精確且螺距均勻（通常是1毫米或0.5毫米）的螺旋，並配有一周緣刻有細密等分刻度的旋轉頭。旋轉螺旋過某數目的等分刻度後，可使軸桿行進與刻劃成正比的幾節螺距。假定一螺距爲0.5毫米，則轉一週就進退0.5毫米，轉 $\frac{1}{50}$週，進退$\frac{1}{100}$毫米。就這樣，由螺旋的轉動數可以精確測量長度。

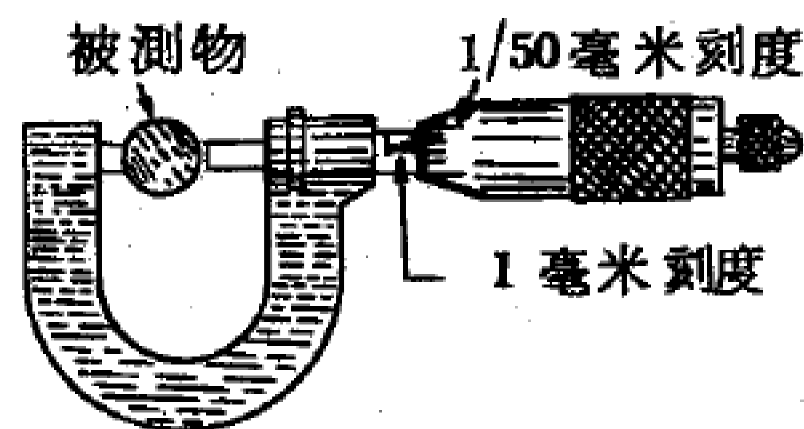


圖12—123　測微計

測微計的應用很廣，我們所熟悉的螺旋測徑器（*micrometer calliper*）即是，它與常用的螺旋鉗夾相似。其螺旋部分像測微計一樣被加以等分刻度，測徑器閉合時，刻度讀數爲零。測量薄板或細線時，旋轉測徑器至無法前進爲止，測徑器上的讀數即可顯出物體的厚度，此儀器可量度百分之一毫米、或千分之一吋的距離。顯微鏡和天文望遠鏡也常常備有一種絲張測微計（*filar micrometer*）。

【測調幅表】（Percentage modulation meter）

當發射機無聲音發送時，輸出電表指針指一固定值，此固定值當爲發射機之等幅載波輸出電流，聲波加入後，指針當隨聲音而變動，從調幅後的電流較原來等幅波電流增加百分之幾，即知調幅的百分率。

【測輻射熱計】（Radio - balance）

測輻射熱計是蘭格里（*Langley*）在1880年爲研究日光能譜的能量分佈而發明的。在此儀器中，其溫度依存性就是金屬或半導體的電阻係數。蘭格里使用厚約一微米，寬約200微米的精細鉑（*Pt*）帶，並

使之黑化以吸收輻射。鉑的電阻係數（γ）的溫度係數，每°C約爲0.3，其他金屬也差不多。鎳（Ni）和鉍（Bi）偶爾也被使用。有時我們用蒸發法做成薄膜狀。後來發現，在半導體中可得數較大的γ值。

把測輻射熱計和惠司同（*Wheatstone*）電橋相連接，則可使此儀器因加熱而增加之阻抗，轉化爲電壓，如圖12—124 (*a*)所示，兩個相同的元件，一個暴露在輻射下；另一個則避免輻射，用以除去周圍溫度的微小變化所產生的效應。本來平衡的電橋，因爲測輻射熱計的被輻射而不平衡。蘭格里和其他早期的研究者，利用靈敏的電流計來測此不平衡電流。若輻射是週期波，則可用交流放大器代替電流計。在這情況下，常採用一個類似的電路（圖12—124 (*b*)）。由分析得知，測輻射熱計的直流反應度，在小的信號時，可用下式表之

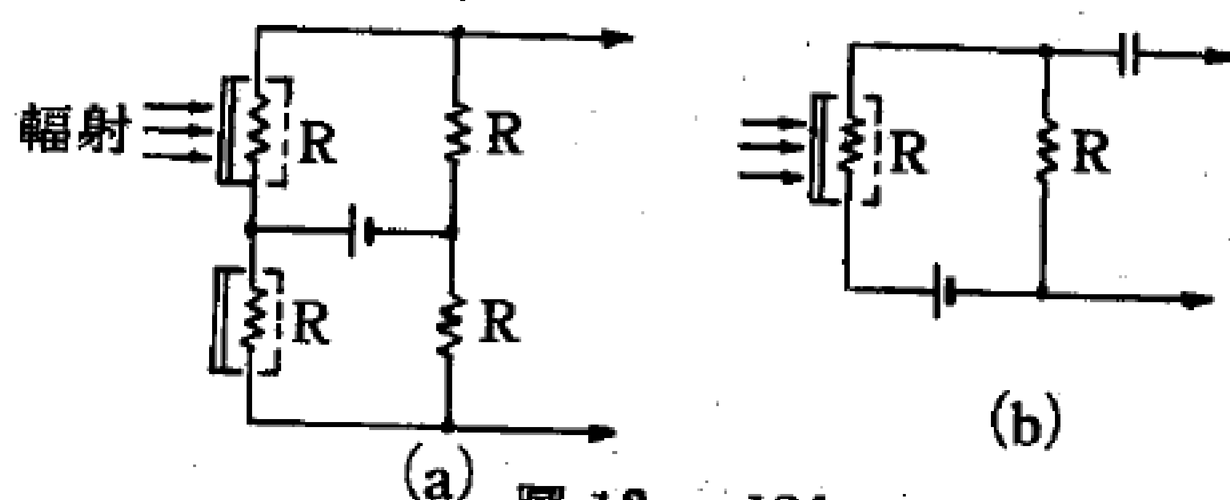


圖 12 — 124
測輻射熱計電橋

$$r_0 = \gamma R i / G$$

在式中，i表示由電池流經阻抗爲R的測輻射熱計之電流，G爲熱電導，由上式指出，爲了得到最大的反應度，必須儘可能的加大電流，但是電流的增加有個限制，這是由於電流所產生的雜波也會增加之故。

測輻射熱計對交流信號的反應，就如同熱電偶，測輻射熱計的交流反應，只能藉時間常數的減小予以改進。爲得到迅速的反應而設計的半導體測輻射熱計，將阻抗成分沉澱在高傳導性的固體上，以增加熱電導（如藍寶石）。

第一個成功的半導體測輻射熱計，即熱阻體（*thermistor*），是由布勞頓（*W.H.Brattain*）和貝克（*J.A.Becker*）在貝爾電話實驗室設計的。它的作用元件是一個包含金屬氧化物（*Mn, Co, Ni*）的半

導體薄片。這種物質的電阻係數，可高到 0.04 /°C ，熱阻體通常被鑄成小規格的細密型，外加一個紅外線穿透鏡，或連接一個聚光的半圓形鏡片。熱阻體有高的阻抗（約兩百萬歐姆），反應度從40到1,000伏特／瓦特，在1 *Hz* 頻帶寬時，*N.E.P.*的數量級爲 10^{-10} 瓦特，而時間常數則從2到 20 毫秒。

上面所討論的情形，都是在室溫下操作的。若在低溫下操作時，使用非金屬測輻射熱計可得更好的效果。冷凍技術的進步，使得我們可以利用液體冷凍的設計，降到液態氦的溫度（ 4.2°*K* ）。一些使用碳電阻的測輻射熱計，已在冷凍溫度下被使用，甚至於超導體測輻射熱計也正在試驗著。然而，這些設計尚未達到實用階段。第一個成功的低溫測輻射熱計在 1961 年被婁（ *F.J.Low*）所設計，這檢波器所使用的測輻射熱計部分，是切取滲有鎵（*Ga*）金屬的鍺晶體薄片。由實驗得知，在 2°*K*和1 *Hz* 頻帶寬時，它的*N.E.P.*是 5×10^{-13} 瓦特，這比在室溫操作時要好 100倍。反應度是4,500伏特／瓦特，阻抗約 5×10^{5} 歐姆，而時間常數約爲0.4毫秒。“溶”於鎵或鋅（*Zn*）濃液中之鍺晶體測輻射熱計，其光譜反應，從2微米到遠紅外線以及毫米波範圍，大體上仍然平坦。但這種設計的有效程度，將由於輻射雜波而有所限制。

【測驗平板之製做】（Manufacture of proof plane ）

光學的平坦或標準板（ *proof plane* ）之原則均依據平坦表面之幾何性質，即謂此平面乃在所有可能位置中均爲自行均勻一致的僅有可能平面。因此，若兩塊玻璃板之表面能與第三塊板之表面精密的適合，且試以前兩板於另一板，而亦均適合者，則此三表面均爲眞平面。若不能適合，則須作系統的改進直至接近一理想平面的境界爲止。

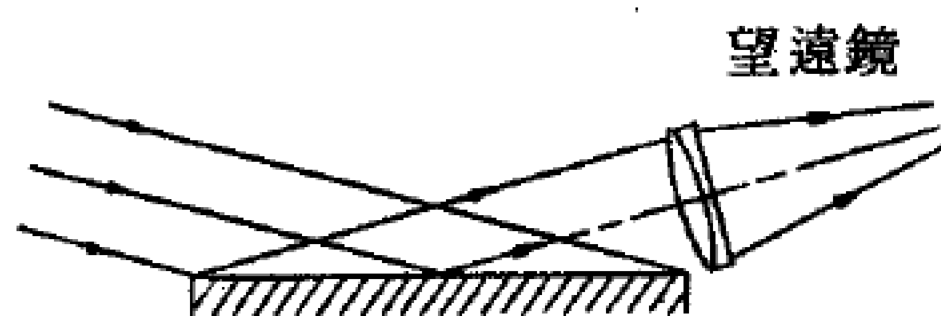


圖 12—125

一平坦表面可僅憑光學原理而測驗之。對於一平面，乃唯一能產生

一光亮點之完整物像之表面，不透明的反射其上一球表面（但甚輕微的）則產生一色散性的物像。因此原理及測驗乃以精確校正之望遠鏡觀看一遠處物點（即一人造星）在此光線已被不透明的反射至待測表面（圖12—125 ）。由擴張之星物像的試驗（即將目鏡在焦點內外觀察）表面之情況可以鑑定之。對於表面微有色散形式的傾向，則由最佳之焦點兩側之橢圓形伸張物像顯示出，而若表面爲眞正平面，可看見圓形的光斑。若表面在水平位置佈置，且其形狀是凹的，則物像將伸長爲一橢圓形，目鏡在最佳焦點之內時則爲長的水平軸，若目鏡在最佳焦點之外則橢圓形垂直之長軸，對於凸表面則呈現相反的現象，此測驗是十分徹底的，可用以測出球面以“分”計的量。

【測驗用振盪器】(Test oscillator)

使用調諧或非調諧的高頻波，實施收音器的調整、眞空管的放大、檢波作用的觀察、線圈電感、電容器電容量的測定等實驗用。

其構造如圖12—126，分爲高頻波振盪部、內部調諧振盪兼外部調諧放大部、輸出調整部、電源部等。

1. 高頻波振盪部——通常使用五極管振盪管與 *LC* 廻路（哈特萊廻路）振盪正弦波。把約400 *KHz* 到 30 *MHz* 的頻率分爲六波段能連續振盪。

圖 12—126　測驗用振盪器線路圖

2. 內部調諧振盪兼外部調諧放大部——利用*RC*或 *LC* 廻路，振盪400*KHz*或 1,000*KHz* 的單一頻率波，加約 40 %的調諧。隨著需

要可利用轉換鈕變爲非調諧，或與聲頻振盪器連結，可以任何頻率加外部調諧。

3. 輸出調整部——使用可變電阻器的分壓器，並再由固定電阻器，分割調整輸出電壓。

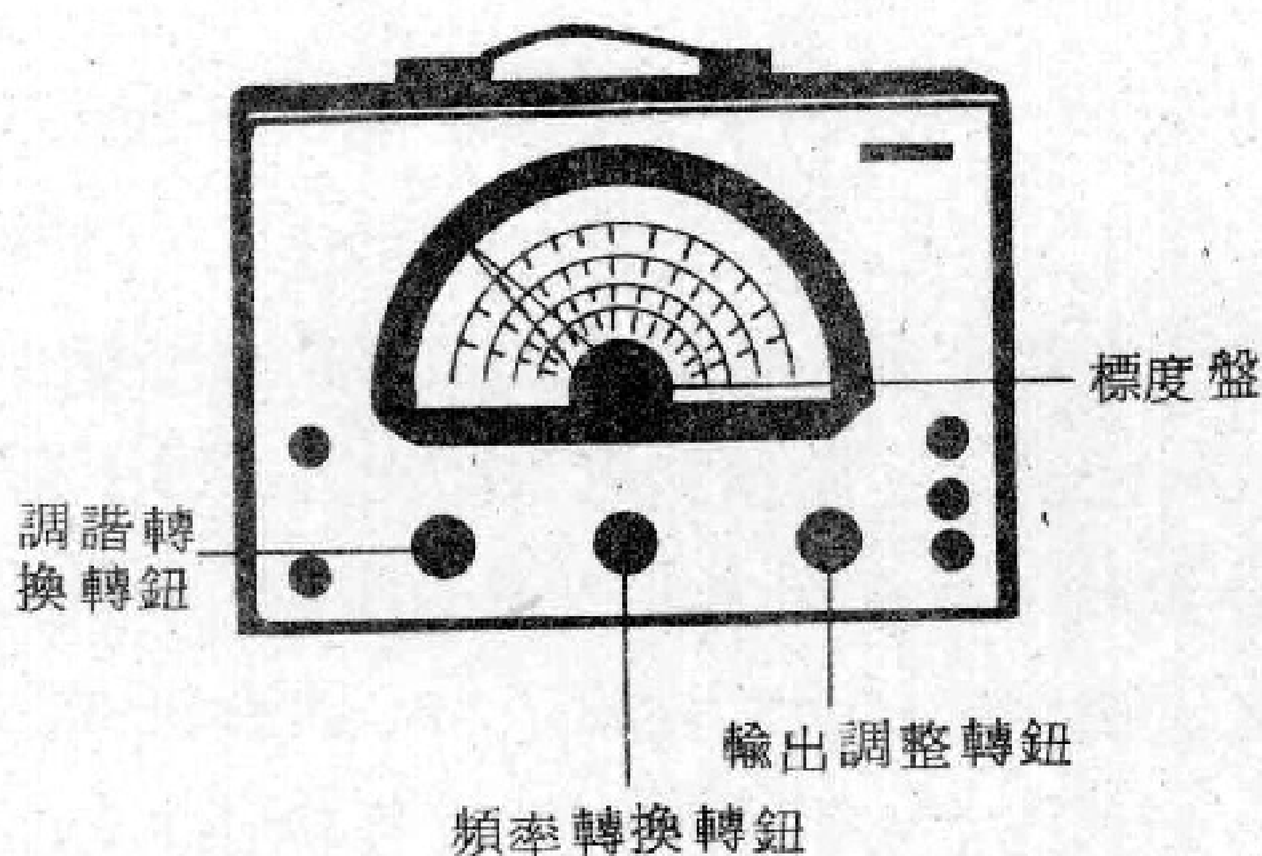


圖 12—127 測驗用振盪器

4. 電源部——與收音器電源部略相同。爲了減少皺波，使用全波整流廻路。

【湯川介子】(Yukawa meson)

詳閱“基本粒子(*Elementary particle* ; *Fundamental particle*)”條。

【湯川位能】(Yukawa potential)

兩個核子之間的作用可以湯川位能表示到某一精密程度：

$$E_p(r) = -V_0(r_0/r)e^{-r/r_0}$$

【湯川秀樹】(Hideki Yukawa 1907-)

日本物理學家，生於1907年。爲第一位獲得諾貝爾物理獎之日本人。1929年自京都帝國大學畢業，1935年在大阪大學任講師時，曾發表介子理論以解釋原子核內的作用力，並預言介子的質量應在電子與質子之間，約爲電子質量的兩百到三百倍。1937年美國科學家用霧室在宇宙射線中發現一種比電子約重兩百倍的粒子，當時誤認爲就是介子，後來發現其性質和介子應有者大不相同，始知乃介子衰變後的產物，今稱爲緲子(μ)。1947年英國科學家用照相乳膠觀察宇宙射線內的粒子，終於證實介子的存在，現在知道介子種類很多，湯川秀樹所預測者只是其中的一種，今稱爲派子(π)。1949年獲諾貝爾物理獎，現爲京都帝國大學榮譽退休教授。

他於 1946 年在日本創辦了一份英文的“理論物理的進步”雜誌，是國際上最出色的物理期刊之一。

【湯川秀樹位函數】(Yukawa potential function)

其形式爲

$$V(r) = g^2 \frac{e^{-ur}}{r}$$

詳閱“核位(*Nuclear potential*)”條。

【湯木生】(William Thomson 1824—1907 ;
Joseph John Thomson 1856—1940 ;
George Paget Thomson 1892-)

(一) *William Thomson* 威廉·湯木生生於北愛爾蘭之伯爾發斯特(*Belfast*)，其家族係蘇格蘭後裔。他父親曾任格拉斯哥大學(*Glasgow University*)數學教授。湯木生在格拉斯哥、劍橋及巴黎大學求學後，二十二歲便受聘爲格拉斯哥大學自然哲學(物理)系主任。他在物理科學各方面均有貢獻，三十四歲時，因舖設大西洋電纜工程上卓越的成就，而受封爲爵士。湯木生在格拉斯哥任教五十餘年，維多利亞女王於 1892 年封他爲貴族。當時有許多頭銜欲賜給他，例如羅盤之王或電纜之王等，但他最後選定克耳文爵士(*Lord Kelvin*)作爲稱號，克耳文係流經格拉斯哥大學旁之一條小河。他在完成了輝煌豐碩的功業以後，於 1907 年去世，葬於倫敦西敏寺，與牛頓之墓毗鄰。

(二) *Joseph John Thomson* 約瑟·約翰·湯木生 1856 年生於英國曼徹斯特附近，畢業於劍橋大學。爲英國著名物理學家，1884 年繼瑞立(*Lord Rayleigh*)主持卡分地西實驗室。他的實驗研究對物理學貢獻極大，他最初假設原子的理論模型是布丁型，但在 1911 年被拉塞福(*Rutherford*)證明不確而揚棄。

他在 1895 年開始探究電荷穿過眞空玻璃管時出現的神秘射線，這

種射線似由眞空管的陰極發出，故稱爲陰極射線（*cathode rays*）。當時用電場未能觀察到射線偏向，乃假設陰極射線像光波，他則認爲是極其微小的物質粒子。他研製特別的陰極射線管，射線在玻璃管中兩帶電金屬板之間行進，當射線射至管中的螢光屏上時，即成可見的亮點。加磁場可使陰極射線偏向，量度屏上亮點的偏向，湯木生即能測定粒子的電荷對質量之比（符號爲 e/m）。由射線偏轉的方向，他斷定射線是帶負電的粒子。因這些粒子的 e/m 值總是一樣，湯木生確定這是所有原子的基本部分，以後即稱這些粒子爲電子。他因此發現電子，獲得1906年之諾貝爾物理學獎。

此外，他還發現化學元素中最早的同位素，即氖－20和氖－22，此驅使了他的學生阿士吞（*Francis W. Aston*）發明質譜儀。

他於1940年八月三十日在劍橋逝世。

（三）*George Paget Thomson* 喬治·派吉特·湯木生爲約瑟·約翰·湯木生之獨生子，於1892年五月三日生於劍橋。畢業於劍橋大學三一學院。一次大戰時服役，戰後在卡分地西實驗室研究。1922年任亞伯丁（*Aberdeen*）大學教授。開始研究電子對晶體的繞射作用，確定運動中的電子具有波的性質，其波長與動量的關係符合德布洛利（*De Broglie*）的理論，1937年因此獲諾貝爾物理學獎。1930年任倫敦大學教授，1943年封爵。

【湯木生原子模型】（**Thomson's model of atoms**）

電子從陰極射線或光電管之金屬陰極射出，這暗示著組成陰極之原子中含有電子。如果確是這樣，則亦有理由假設一切原子中都含有電子。這假設是誘人的，因爲由此可導出正游離原子的簡單圖樣，即原子中一個或多個電子被移去之後就成爲正離子。此與實驗觀察得單次游離原子之電荷量等於單一電子的電荷量，或二次游離原子之電荷量等於二個電子的電荷量等等結果相符。稍後巴克納（*C.G.Barkla*）及其他人

在有關原子對X射線的實驗中，亦得到另外的證據，證明了原子中確有電子存在。

但從實驗得到原子中電子數Z的估計值，發現Z略等於$A/2$，其中A為所用原子之化學原子量。另一組實驗則可量得原子中的電子數。

因正常原子是中性的，則原子亦須含有正電荷，其量並須等於其正常完整電子數所帶的負電荷量。因此中性原子有負電荷量 Ze，其中e為電子電荷，而且亦有同量的正電荷。即使最輕的原子，電子質量亦比原子質量小得很多，這暗示著絕大部分的原子質量應集中在正電荷內。從這種種考慮的結果，自然就導致原子內正負電荷的分佈問題。

湯木生原子模型即是首先提出的原子模型，其大意謂：構成原子的正電荷係均勻地分佈於球狀原子內，原子大小乃是此正電荷球之大小，電子則埋藏於此正電荷中，當電子受外界刺戟時，它即以平衡位置為中心作振動而發射光。當α質點穿過此原子時，α質點將遭受散射，因電子質量甚小，這項散射之主要原因是正電荷之斥力作用。

因電磁理論預示加速的帶電物體如振動的電子等會發射電磁輻射，故根據湯木生模型，便可瞭解受激原子會發射電磁輻射的性質。但實際計算其可能發射的輻射能譜，即發現此模型所能導致的結果，與實驗觀察到的能譜在數值上並不相符。

事實上1911年拉塞福(*Rutherford*)對原子散射α質點的實驗加以分析之後，便得到湯木生模型不對的確證。拉塞福分析的結果顯示，正電荷並非佈滿在整個原子內，而是集中在原子中心的極小區域，或原子核內。因此，湯木生原子模型便被廢棄了。

【湯木生原子學說】(Thomson's theory of atoms)

湯木生認為原子是含有均勻密佈的正電粒子和電子的一個球體，電子所帶的負電荷與正粒子所帶的正電荷相互中和，故原子呈現不帶電荷的中性，這是湯木生原子構造的概念。隨後湯木生原子構造理論因與拉

塞福（ *Rutherford* ）α質點散射實驗結果抵觸，且不能解釋原子光譜（ *atomic spectrum* ）而被放棄。

【湯木生振動公式】（ Thomson's formula of vibration ）

當由容電器與電感線圈所形成的振動系統，達到共振的情況時，有下述關係成立：$\omega L=\dfrac{1}{\omega C}$。由此方程式可以算出 ω，即

$$\omega^2=\frac{1}{LC} \qquad \omega=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

如以 $2\pi f$ 代替 ω，則得 $$2\pi f=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

又因 $f=\dfrac{1}{T}$，故 $$T=2\pi\sqrt{LC}$$

是為湯木生（ *William Thomson* ）於 1854 年從理論上導出來的公式，即稱湯木生振動公式。

【湯木生效應】（ Thomson's effect ）

溫差電偶（ *thermo-electric couple* ）如果沒有電流的話，導體能夠導熱而使每條導線上的溫度分佈都很均勻。如果有電流存在的話，溫度分佈就受影響，而且這個變化不只由焦耳效應（ *Joule effect* ）而起。這種溫度分佈的改變就叫做湯木生效應。除了焦耳效應之外，沿著線路邊緣為了回復原來的溫度分佈需要取出或加進的熱量叫做湯木生熱量。

要量一條線上一小段範圍裏的湯木生熱量的話，我們必須使這小範圍內有溫度梯度（ *temperature gradient* ），而且通過電流。湯木生熱傳遞的速率就是電能消耗率減去導熱率。因為焦耳效應可以計算出來而且傳導的熱量可以從實驗中量到，湯木生熱是可以得到的。測量的結果可以得到下列結論：

1. 如果導線的一段小範圍內的電流為 I 而溫度差為 dT，則湯木

生熱量傳遞的速率爲$\sigma I d T$，這個σ叫做湯木生係數(*Thomson coefficient*)。

2. 湯木生熱是可逆的。

3. 湯木生係數和導線的材料及考慮中小範圍裏的平均溫度有關。

4. 如果電流和溫度梯度（低溫到高溫）的方向相反，而導體吸熱的話，慣例認爲σ爲正。

【湯木生實驗】(Thomson's experiment)

1897年湯木生由眞空放電的實驗（管中氣體之氣壓低於$10^{-4}atm$，電壓5,000～10,000伏特）發現陰極射線撞擊管壁時產生微弱的螢光；受靜電力而偏向時，它們好像具有負電荷一樣；當它們受磁場作用時，其射線的軌跡與磁場作用於帶負電荷質點後的軌跡相同。因此斷定陰極射線乃一帶負電荷之質點。

這些質點的本性如何？由放電管中不論使用任何氣體，都可發現這種質點的事實來看，這些質點似乎不是帶電原子的一種特殊類型，而是原子中原來就存在的一小碎片（ *fragment* ）。他用下列兩種方法證明此一觀點，並求出陰極射線的荷質比（ e/m ）。

1. 湯木生以陰極射線撞擊電極，然後量度釋出的電流與撞擊後溫度升高的度數。由此度數與熱容量（ *heat capacity* ）可求得陰極射線釋出之能量W。此能量等於陰極射線質點的動能：

$$W=N\cdot\frac{1}{2}mv^2$$

N表示質量爲m，速度爲v達到電極的總質點數。設抵達電極的全部電荷爲Q，則

$$Q=Ne$$

由以上二式組合得：

$$\frac{Q}{W}=\frac{2}{v^2}\left(\frac{e}{m}\right) \qquad (1)$$

湯木生又量度在磁場強度H下，帶有電荷e之質點，在一半徑爲r之軌道上運行而得：

$$v=\frac{erH}{m} \qquad (2)$$

由（1）（2）式組合得：

$$\frac{e}{m}=\frac{2W}{r^2H^2Q}$$

上式之W、Q、H、r均可量度，因而可得電子之荷質比（e/m）。

當e/m值首次被決定時，有許多人懷疑此一實驗的精確性。欲回答此問題，故產生了第二種實驗方法，重複此一決定。

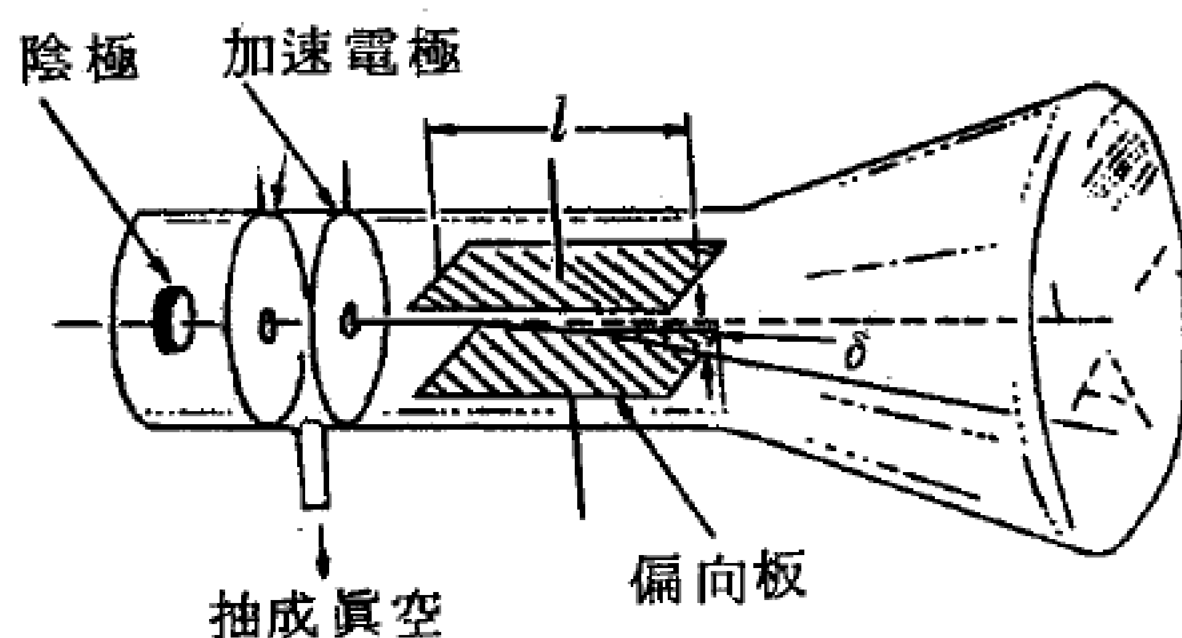


圖 12—128
湯木生用爲測定e/m之儀器

2.將陰極射線的質點柱穿過一電場與磁場區。磁場或電場的單獨使用，皆能使此質點柱偏向而離開水平軌道。因此如果使電場固定而調整磁場大小，使質點柱回至原來的水平軌道，則磁場施於質點的力Hev 必等於電場施於質點的力eE，因此

$$Hev=eE$$

則

$$v=\frac{E}{H} \qquad (3)$$

E、H均可量度，故可求得質點的速度v。

其次移走磁場，而量度電場單獨使用時之偏向。當質點柱經過兩板時，由於電場的力eE，可產生一偏向δ如圖 12—128。此值可從管末發現之點的位移應用相似三角形求得。根據牛頓第二運動定律：

$$eE=ma$$

$$a = \frac{eE}{m} \qquad (4)$$

偏向 δ 與質點的加速度 a 和質點穿過兩板的時間 t ，其關係式：

$$\delta = \frac{1}{2} a t^2 \qquad (5)$$

t 可由板的長度 l 與質點的速度 v 表示：

$$t = \frac{l}{v} \qquad (6)$$

（3）、（4）、（5）、（6）組合得：

$$\frac{e}{m} = \frac{2\delta}{l^2} \cdot \frac{E}{H^2}$$

等式之右邊每一量均可由實驗量度之，因而可得電子之荷質比（ e/m ）。目前被接受的 e/m 值爲 1.759×10^8 庫倫／克或 5.27×10^{17} e.s.u./克。

由陰極射線求知之電子的 e/m 值與陽離子的 e/m 值相比較後，便可發現其重要性。電子的 e/m 值要比任何陽離子的 e/m 值大 1,000 倍以上。同時，不同陽離子的 e/m 值彼此不相同，而電子的 e/m 值恆爲一常數與放電管中氣體的種類無關。因此湯木生假設陰極射線不是帶電的原子而是原子中的微粒碎片（ *corpuscular fragment* ），亦即所謂的電子。

【湯里士】（ Charles Hard Townes 1915- ）

1915 年七月二十八日生於美國南卡羅來納州之格林威利（ *Greenville* ），爲美國著名之物理學家之一。1937 年獲得杜克（ *Duke* ）大學博士。1939—1947年在貝爾實驗室研究，1948—1961年執教於哥倫比亞大學，1961—1966年任麻省理工學院院長及物理學教授，1967年起任加州大學貝克萊校區教授。湯里士在 1951 年解釋發展霙射（ *maser* ）的基本原理，1953 年幫助研製第一具霙射，1958 年倡儀雷

射。因其對量子電子學之雯射雷射原理的貢獻，與另兩位蘇俄科學家白沙夫（*N.G.Basov*）及卜諾霍諾夫（*A.M.Prokhorov*）同獲 1964 年諾貝爾物理學獎。

【湯普森】（Benjamin Thompson 1753—1814）

出生於美國麻省的科學家及政治人物。獨立戰爭後在歐洲定居。在十八世紀時，一般科學家都認爲熱是一種物質，在 1798 年托馬士爲波伐利亞（*Bavaria*）政府監督製造大砲時，鑽製砲腔產生極多的熱，需用水冷卻，而知由運動亦可生熱，熱無重量的現象。又於 1800 年創設英國皇家研究院。湯普森因改善慕尼黑的貧民生活狀況有貢獻，在1791年爲波伐利亞政府封爲伯爵，即冉福得伯爵（*Count Rumford*）。

【渦旋】（Eddy vortex）

流體運動中流線如陀螺般繞一軸作同心圓旋轉部分者稱爲渦旋。就是在數學上定義爲旋度不等於零的部分。若旋度集中於一狹窄範圍內，則流體的轉動運動變爲明顯。當旋度連續分佈時，即使爲渦旋運動也看不出渦旋。例如在水中緩緩地移動物體時，流動雖非無旋運動，但因流線平滑，看不出渦旋。將物體速度增加，則旋度集中於二點而產生旋轉方向相反的兩個渦旋，稱爲渦旋偶。再使速度增加，則由物體左右兩旁交互產生渦旋，而形成卡曼（*Karman*）渦旋。若再使速度增加，則渦旋的產生變成激烈而不規則，即流動變成湍流（*turbulent flow*）。通常在黏性小的流體內，例如在空氣或水中，渦旋不在流體內部發生，此渦旋是由於物體表面的邊界層剝離並流進液體內所形成。

【渦旋度】（Vorticity）

在流體運動中設流體的速度向量爲 $\vec{v}$，則 $\vec{\omega}=\nabla\times\vec{v}$ 稱爲渦旋度。又令 $\vec{v}$、$\vec{\omega}$ 的直角坐標分量分別爲（u,v,w）、（ξ,η,ζ），則

$$\xi=\frac{\partial w}{\partial y}-\frac{\partial v}{\partial z}\qquad \eta=\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial x}\qquad \zeta=\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}$$

又流體的微小部分被視爲以$\frac{1}{2}\vec{\omega}$的角速度轉動。

【渦絲】(Vortex filament)

即爲渦旋絲，在極微細渦管內的流體運動稱爲渦絲。設一渦絲的任一垂直截面積爲σ，在該截面的渦旋度大小爲ω，則渦絲強度 $\omega\sigma$ 與截面位置無關而一定。因此渦絲在流動中不會斷絕，而延伸至無限遠處或器壁，或者自行封閉而變成渦環。在完美流體中，渦絲隨著時間而變形，但始終由同一流體部分構成，並且強度保持一定。

【渦管】(Vortex tube)

即渦旋管，在渦旋流動中想像一封閉曲線，並通過其上的各點畫渦線，則可形成管狀，這個管稱爲渦管。沿著渦管表面繞管一周的任意封閉曲線，其環流具有一定的大小，此值稱爲渦管強度。

【渦環】(Vortex ring)

渦絲沿一封閉路線而變成環形者稱爲渦環。香煙的煙圈即爲其例。在靜止流體中，若有渦環，則由於渦環各部分的相互影響，以一定速度v向環面垂直方向運動。當渦旋的截面積爲半徑a的小圓時，v等於

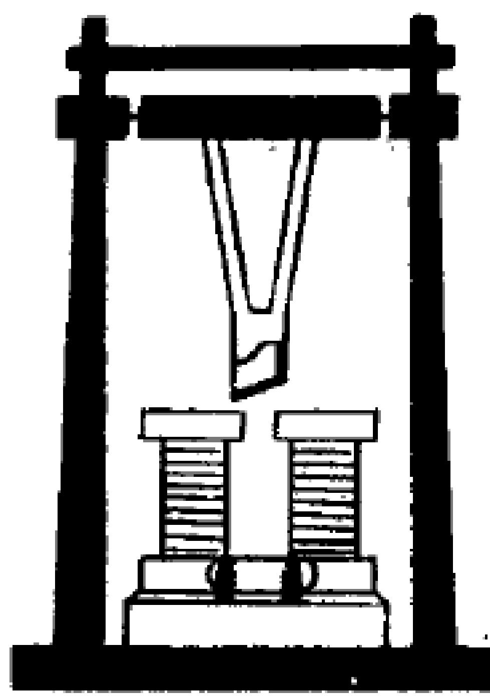
$$v=\frac{\Gamma}{2xr}\left(ln\frac{8r}{a}-\frac{1}{4}\right)$$

式中Γ爲渦旋絲強度，r爲環的半徑。

若在靜止流體中有同軸的兩相同渦旋，則由於相互影響，前面的渦旋環A，一面增加半徑一面減少進行速度，後面的渦旋B一面減少半徑一面增加速度。故B穿過A而進行。後仍以如此方式，落後渦旋穿過先進渦環而進行(即交互B變A而A變B)。

【渦電流】(Eddy current)

楞次定律(*Lenz's law*)在華爾頓荷芬(*Waltenhofen*)所作之實驗中，表現得尤爲顯著。其法乃將一扇形的沉重銅片懸掛起來，俾其能在一強力電磁鐵的兩極間來回擺動(圖12—129 (*a*))。當電流未曾



(a) 華爾頓荷芬擺

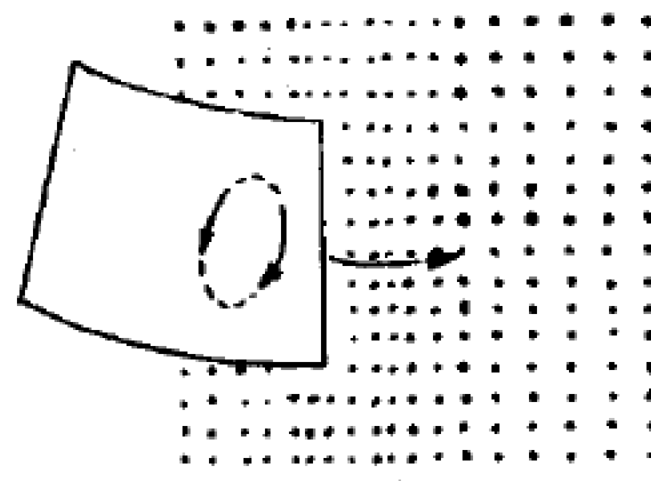


(b) 犬齒狀銅片

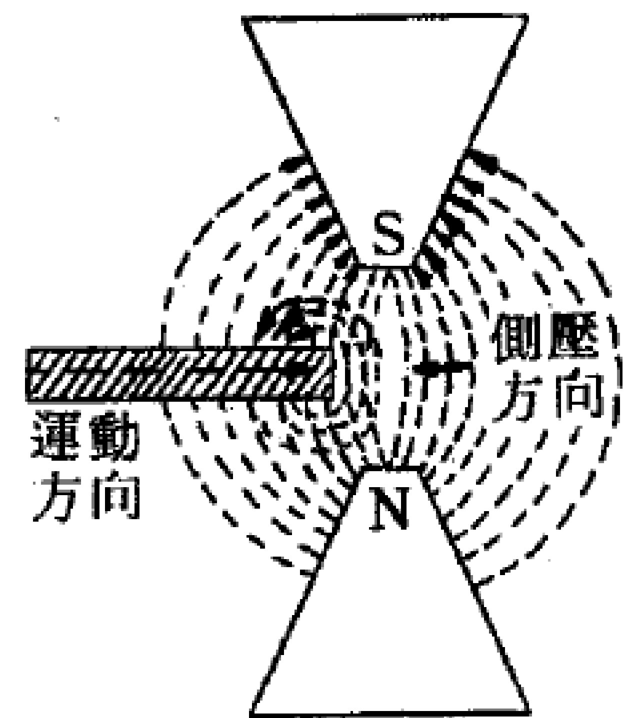
圖 12 — 129

接通時，此擺的擺動情形和一平常擺無異，僅由於摩擦以及空氣阻抗的關係而逐漸停止下來。但當電磁鐵發揮作用時，其情形便完全兩樣了。此時如將拉起的擺放下，則見其在一刹那間便趨於靜止，好像該銅片是被一種黏稠的東西所膠住似的。此種令人結舌的制動功效，乃由於磁感應在銅片上發生渦電流所致。

此種渦電流的起因我們可由圖 12 — 130 (*a*)及(*b*)中研究出：設電磁鐵的不匀磁場的方向係由圖前垂直入於圖後；又令銅片由左往右擺動，則其中的自由電子便會由上往下偏轉，且由於磁場不是均勻的緣故，其偏轉的大小也不一致。這種偏轉大小不一致的電子會銜接而成一順時針方向的圓形電子流。一當銅片擺過了磁場的中央部分，這種電子流的方向便會立即反轉過來；而在磁場中央部分的左方則有另一順時針方向的圓形渦電流產生出來 (圖 12 — 131 (*a*))。根據楞次定律，此渦電流

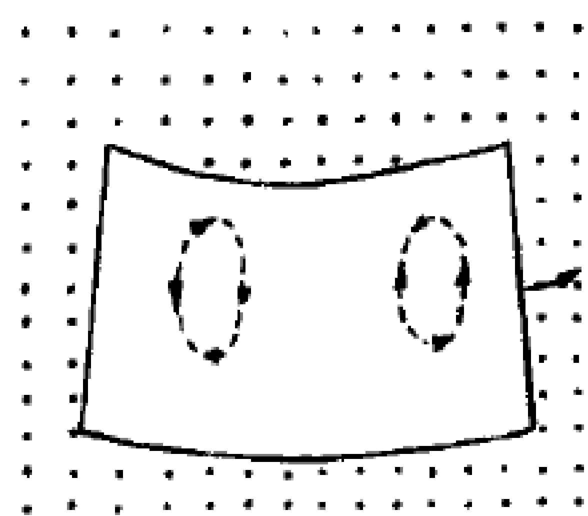


(a) 側面圖

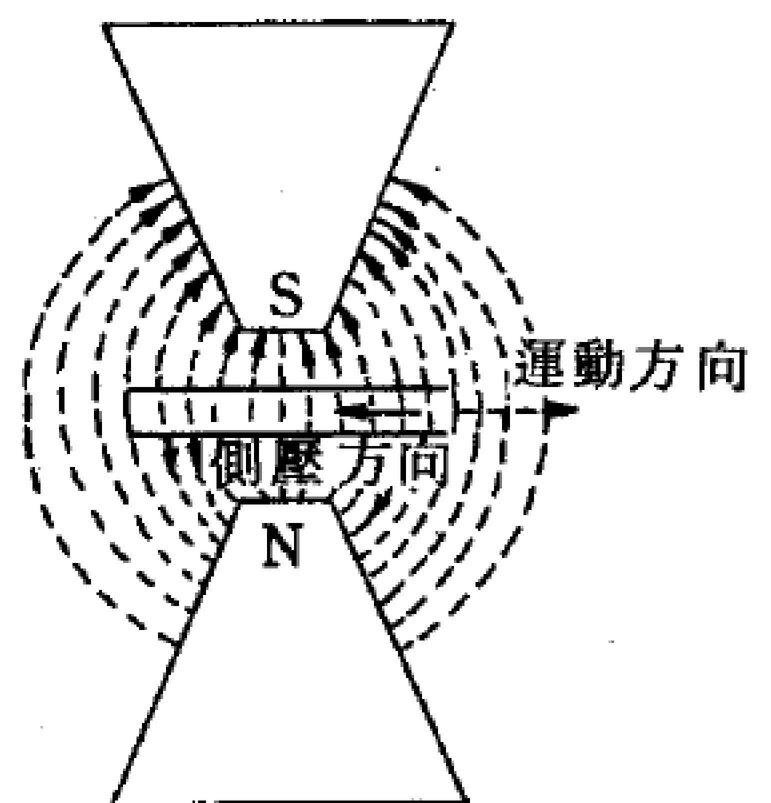


(b) 通過中央水平面上的磁力線圖

圖 12 — 130



(a) 側面圖



(b) 通過中央水平面上的磁力線圖

圖 12 — 131

對該擺的運動（渦電流的成因）實有強烈的阻滯作用（*damping*）。爲要防止渦電流的產生，可利用一種犬齒狀銅片（圖 12 — 129 (*b*)）以達成目的，如此則見其擺動甚爲迅速，一若當中並無磁場存在者然。

由此知，渦電流一方面隨磁力線變化的速度增大而增大，另一方面當金屬塊和磁力線相交的面積愈大時，這種電流強度的數値愈大以致會使金屬變熱。正是因爲這樣，爲了減少發電機、電動機、變壓器中鐵芯的發熱，就把鐵芯沿平衡磁力線方向，裝成互相絕緣的薄片。

渦電流在工業上常利用作高頻加熱。例如在玻璃眞空儀器製造中，有時爲了使放在玻璃泡內的金屬部分變熱，把玻璃泡放在變化很快的磁場中，就可達到目的。

【渦電流損失】（Eddy current loss）

變壓器或電機鐵芯中的渦電流，其來源得自磁場，而磁場中的力線又來自電源中的電力，故鐵芯渦電流變熱的損失亦屬電力損失之一。

【渦輪】（Turbine）

渦輪好像風車一般，受風的吹動而產生動力。由燃燒室出來的氣流，具有很大的熱能與壓力，經過渦輪噴嘴（作用與壓縮器中定子的作用相反）的作用，使氣流的壓力與溫度均略爲降低，但速度卻大爲增加，這種氣流衝擊到渦輪葉片產生反作用力如圖 12 — 132，將渦輪整個轉動有如風車（所不同的是渦輪受到氣流衝擊力甚大，轉速極高），所以渦輪的作用是將氣流的熱能轉變成動能與機械能，帶動壓縮器，產生能量。

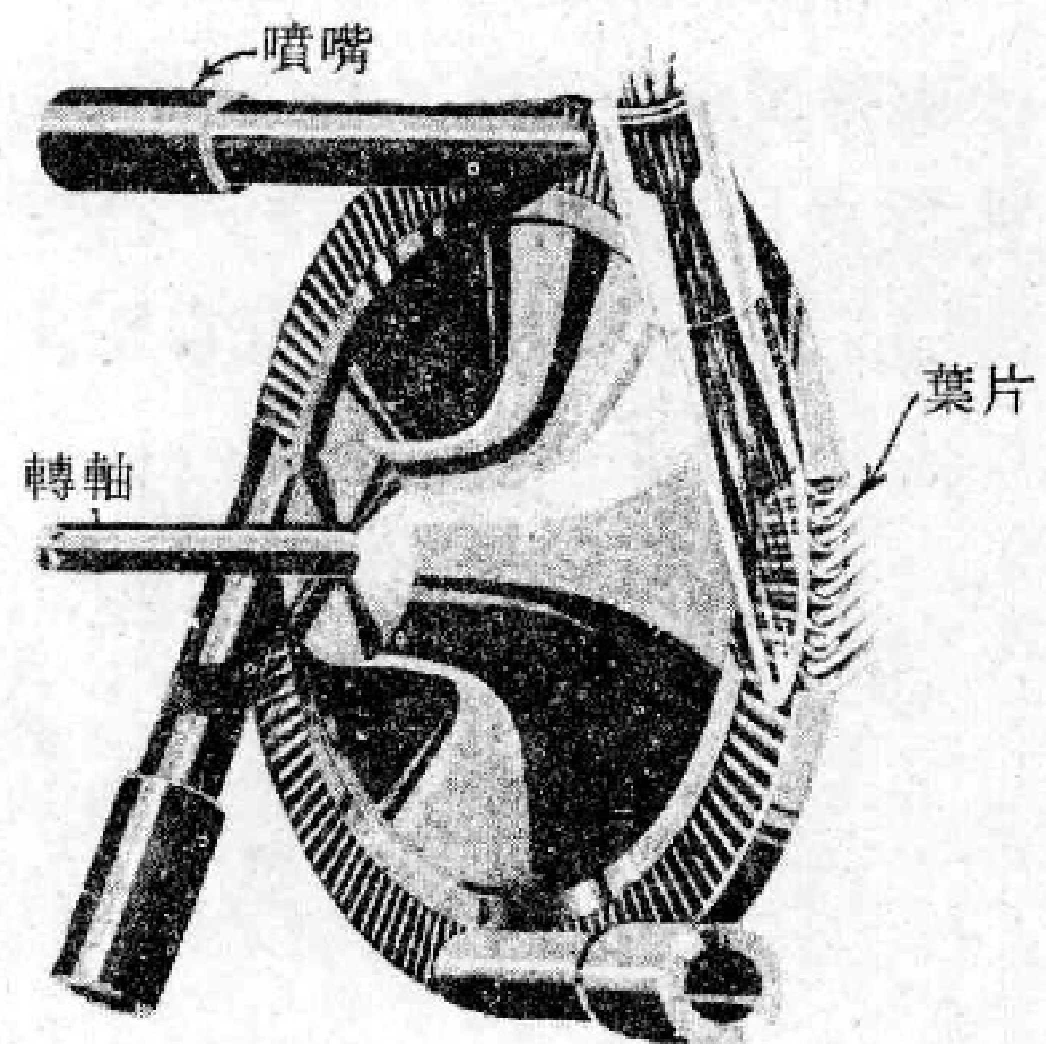


圖 12 — 132

渦輪的構造基本上和壓縮器是相同的，但由於其中的氣體溫度很高，所以在材料的選擇和機件的設計上都需要特別考慮，由於防止壓縮器失速而將壓縮器分段用不同轉速的渦輪帶動。現已有三具渦輪的噴射引擎了。

近年來，爲了要增加噴射引擎的效率，故又研究出渦輪風扇（*turbo-fan*）引擎，它是根據提高推進效率而研究發展成的，推進效率公式：

$$\eta = \frac{2}{1+\frac{V_j}{V_a}}$$

式中 V_j 爲飛機排氣速度，V_a 爲飛機氣流進氣速度。由式中知：使V_j與 V_a 接近，則效率愈高。但由實際觀察，V_j 比 V_a 大許多，所以在引擎內，加裝一個大型風扇渦輪，使其高速運轉，增加進氣速度，近代此型引擎頗爲風行。

有些渦輪是由水力發動的，水衝擊著槳葉旋轉，磨坊研磨穀米就是用這種原理。水力渦輪機是一具高速的水車，它常裝置

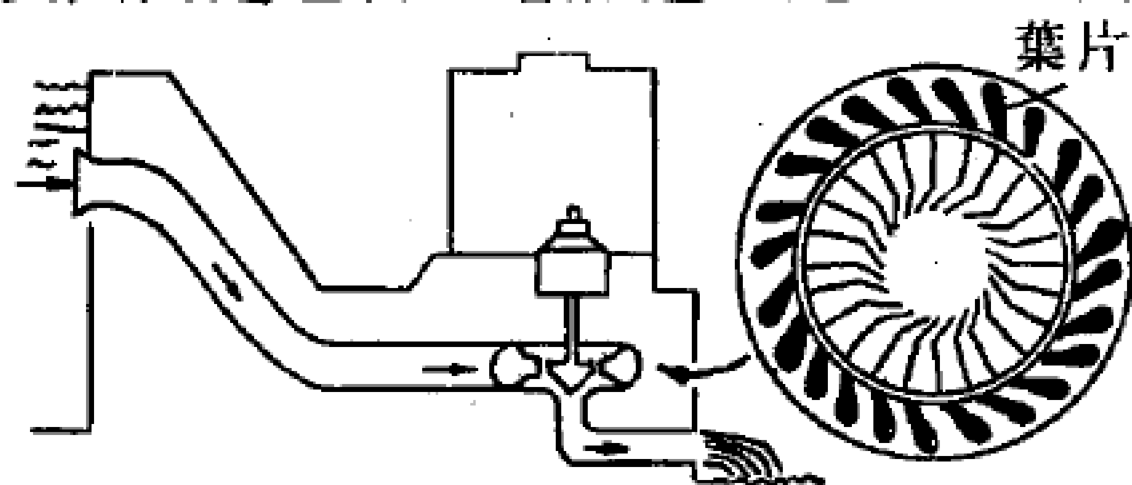
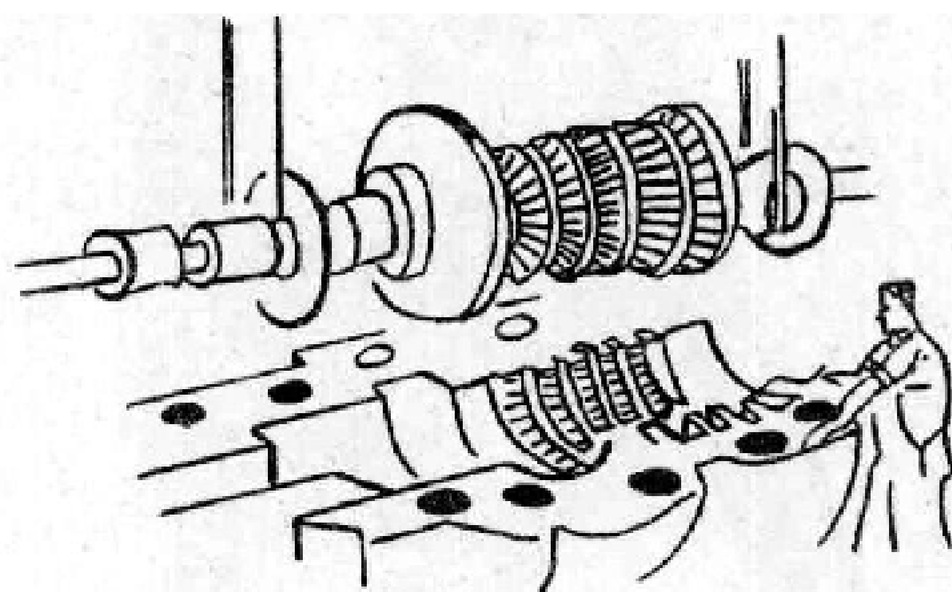


圖12—133
水從堤堰流入導管裏旋轉渦輪機



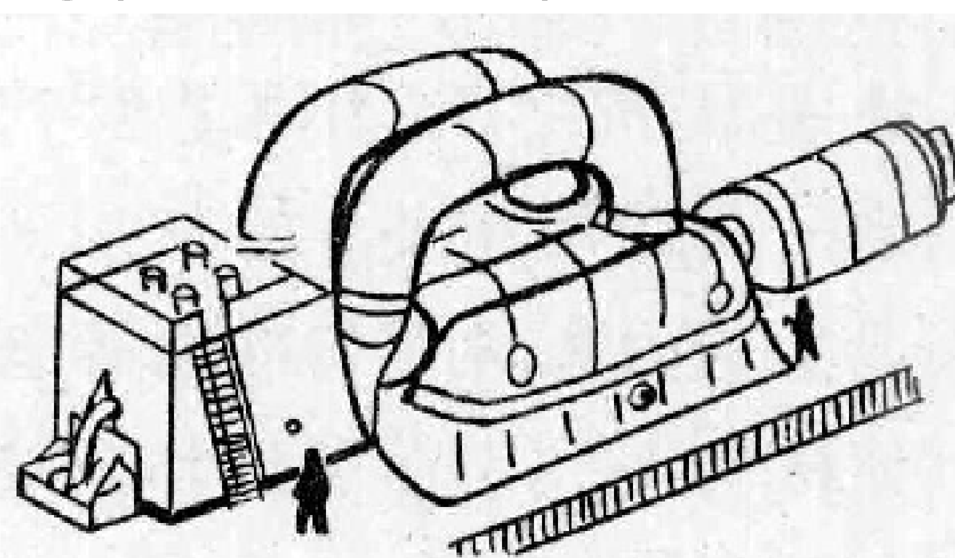


圖 12 — 134　蒸氣渦輪機

在堤壩上，藉落水使渦輪急速運轉。也可以連結在發電機上來產生電力。

水力渦輪機有兩種主要的形式：一種是水衝擊槳葉或渦輪機輪來使

輪運轉。另一種是水進入渦輪裏後，又從輪的一個孔中衝出來使輪子轉動，這種渦輪機叫做反動渦輪機。廻旋式草地噴水車的噴水，就像反動渦輪機。

蒸氣渦輪機（如圖12—134）很像水力渦輪機，只是車輪的運轉是用蒸氣而不是水力。蒸氣也是在鍋爐裏加熱到極高溫度。蒸氣溫度愈高，壓力愈大。蒸氣在壓力下從一個噴氣口射出，就有一股強力。這強力噴射到渦輪上，渦輪就會急速運轉起來。蒸氣渦輪機用來發電，也常用在船上代替普通蒸氣發動機。

【渦輪發動機】（Turbine engine）

渦輪發動機（如圖12—135）有一個高速旋轉的壓縮器。當壓縮器的葉片旋轉時，就迫使空氣經過一個大導管或通道而進入渦輪部分。在空氣進入渦輪以前，燃料已先噴進去。這種燃料可以是汽油、煤油或石油。它以穩定的火焰燃燒，且產生高溫和高壓。熱的、高度壓縮的氣體，噴過渦輪，並使它們轉動。這一動作與汽輪機的動作很相像，一個渦輪推動壓縮器。另外一個渦輪推動與車輪連接的一組齒輪和軸。因此，渦輪的旋轉便使車子運動。熱的排氣通過渦輪後，便環繞由壓縮器出來的導氣管的外圍流動。因此，熱的排氣就把輸入的空氣加熱。把壓縮空氣加熱，可提高渦輪發動機的效率。

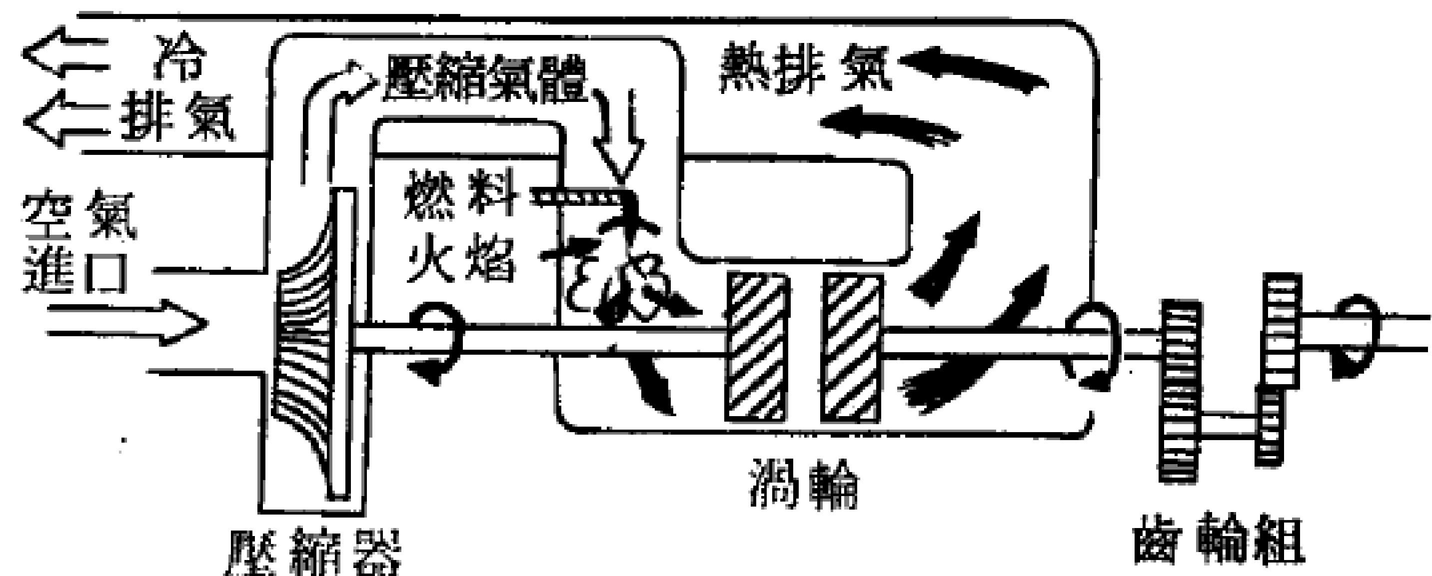


圖12—135　渦輪發動機

由於渦輪發動機構造簡單，且效率高，因此有些工程師認爲，在最近的將來，大部分新型汽車會使用渦輪發動機，來代替活塞發動機。

【渦輪發電機】（Turbo-generator）

包括渦輪及發電機的組合，謂之渦輪發電機。渦輪發電機的效率頗高。大型陸用商業性動力廠中，此類裝置可以使 30 % 的熱能轉換爲電力。

【湍流】(Turbulent flow)

湍流又稱爲擾流或紊流。湍流是由於一種規則的流動碎成渦旋而成，渦旋不規則的波動散佈開來破壞原來流動的區域，如果眞是這種情況，湍流可說是一種半穩定狀態的運動。

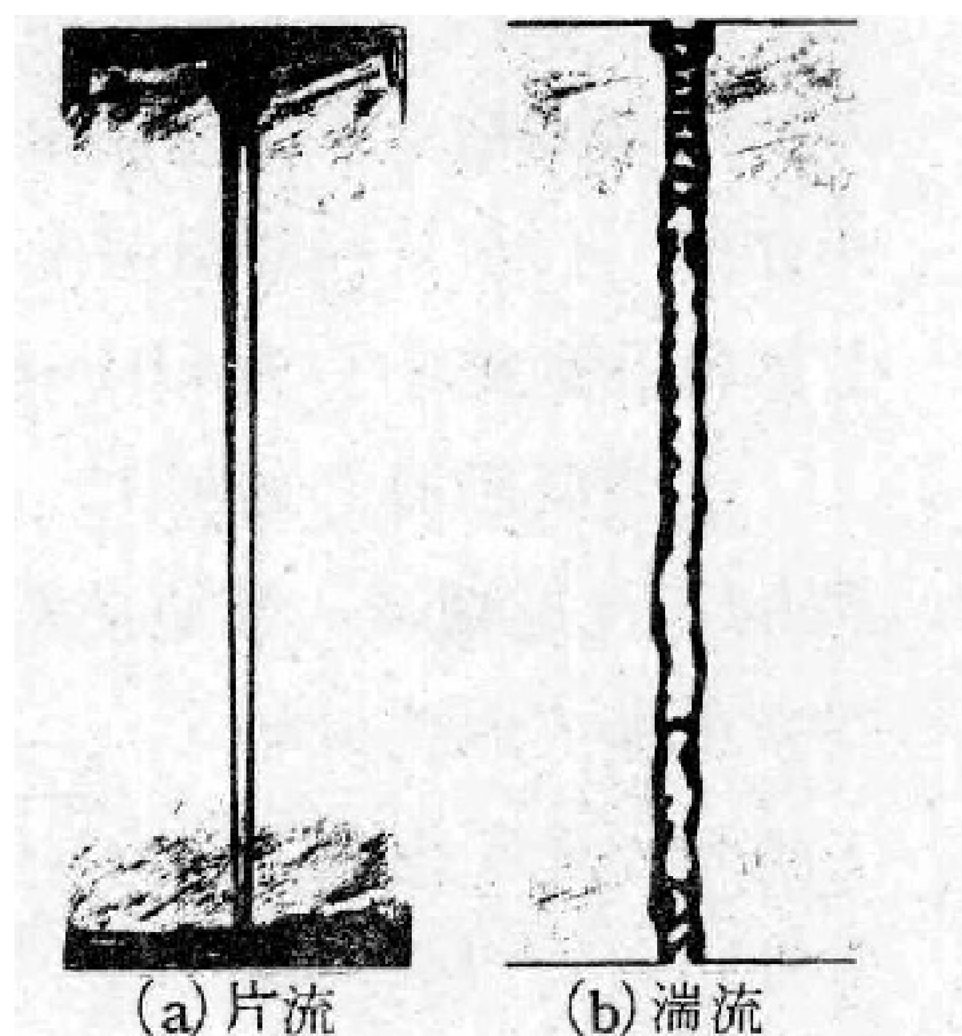


圖 12 — 136
流出圓管之水注成二種現象

湍流包含大小雜亂的渦旋，但其特性爲不規則性。故須與有一定週期的流動（例如卡曼渦旋）加以區別。由於渦性，運輸現象變成大規模，所以在渦流中黏性熱導率、擴散係數表面上取極大的數值。

湍流的理論研究對象有兩種：(1)發生的原因，(2)已生成的湍流構造。解那維爾、司托克士方程式(*Navier-Stokes equation*)時，R 小則可獲得穩定解，即表示片流。但 R 超過 R_c 以上時，解就不穩定，表示片流破壞，成爲湍流，此 R_c 稱爲臨界雷諾數 (*critical Reynolds number*)。

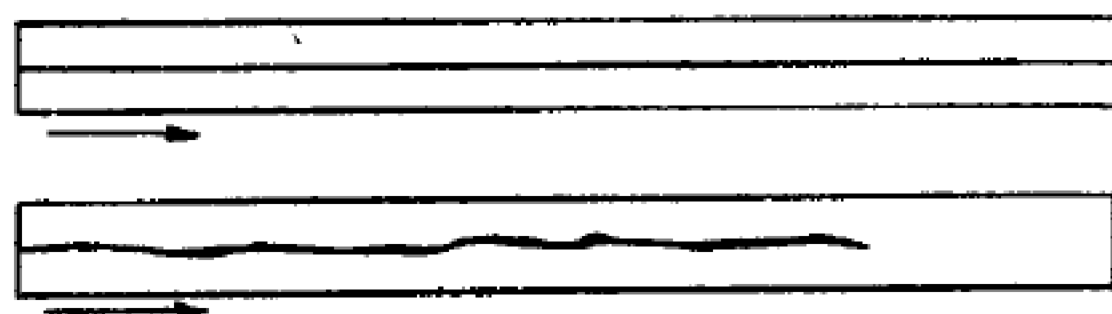


圖 12 — 137
玻璃管中之片流與湍流之生成

實驗研究者早注意到流體有二種運動模式，舉例說，1839 年哈庚 (*Hagen*) 報告謂：當圓管中流速超過某極限時，流動之模式也隨之改變。他注意到在此速度之下，外流之水注如玻璃棒般平滑；高於此速，水注表面振動不已，並散爲水花。這些現象示如圖 12 — 136 。此爲片流與湍流之證，現認其爲流體流動的二種模式。

在 1883 年，雷諾（*Osborne Reynolds*）對這二種模式說明得很清楚，並提出一參數（現冠以其名）爲決定究爲何種模式存在的標準。他將一線染料注入由大水槽流至玻璃管之水流中，低流速時，染色流保持爲一直線，表示水成平行的流線或層面而運動。鄰片流速並不相同，只是其間並無巨觀的混拌現象。這是一種最簡單的片流現象。一旦流速增至某臨界值，依雷諾之說明，染色流碎成不規則的渦旋，然後向側方混合，充塞管之橫斷面。這種越層的混合現象爲湍流之證。這二種情形列示於圖 12 — 137 。

一般，當鄰片流體作相對運動，組成平滑的流線，雖不必是直線，卻無巨觀的混合，便有片流發生。此種模式是在黏滯剪力爲流場中主要影響力時才發生的，而黏滯剪力是由於流體界層間有分子動量交換時所引起的。

湍流的特色是流體質點作不規則，幾乎是任意變動的運動，路徑任意改變。主流方向與其側方皆有巨觀之拌混，此種模式之流動，其黏滯剪力小於慣性力。

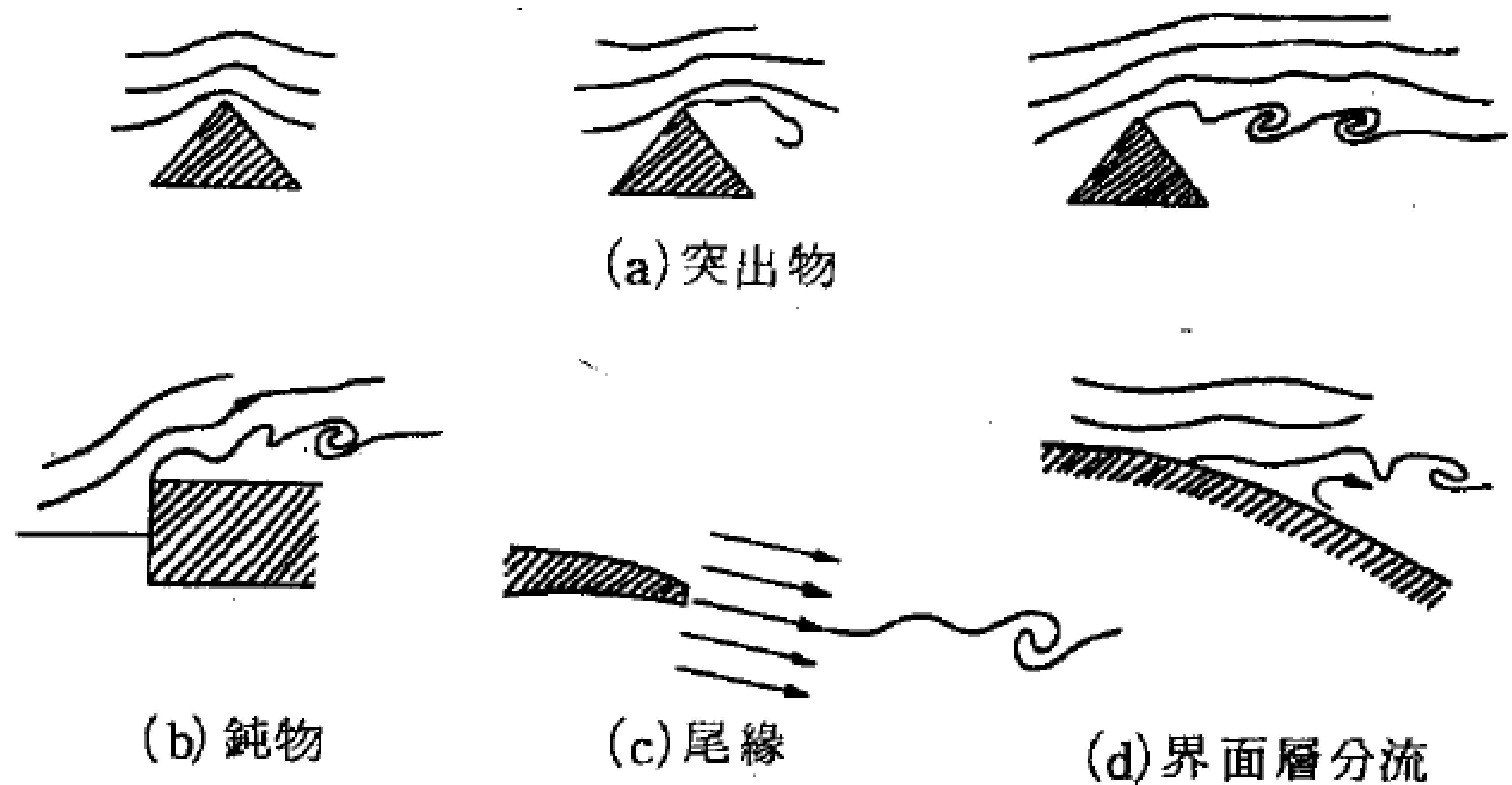


圖 12 — 138
速度不連續表面上形成之渦旋

吾人可以低加速度與高流體黏滯性做爲片流運動存在的準則。首先，剪應力有變得很大的趨勢，即在低速度坡降時亦然，其次，流體每單位質量之慣性力對每單位質量之黏滯剪力而言，其影響較爲次要時，吾人可由下比例將此種狀況之特性表出

$$\frac{\text{慣性力／質量}}{\text{摩擦力／質量}} \propto \text{雷諾數}$$

即討論低雷諾數時，當雷諾數低於某臨界值時則有片流，高於此臨界值，片流運動便不穩定而出現湍流。臨界雷諾數之數值依流動幾何性與所取之典型長度和速度而定。

吾人應注意者，片流與湍流運動皆黏滯性所造成，若無黏滯性則二者皆不能發生。

產生渦旋的湍流來源之一是在流動不連續面上發現的，即鄰近層面的流體速度不能連續而成跳躍現象，例如子彈的尖端、鈍物的邊上、機翼與導葉片的尾端與界面層分流區域內，這些示於圖 12 — 138 。有一例有著煙狀尾跡者示於圖 12 — 139 中。在速度不連續表面上，有發展爲波狀運動的傾向，此乃由外來的原因或流體帶來的擾動所引起，此種波動趨於不穩定終而振幅加大，此可由一簡單而古典的方式定量地表示出來。相對於波浪（以流體速度之平均值向前移動），流線示如圖 12 — 140，將白努利方程應用於各流線管上，可知波浪凹的一邊爲高壓，凸的一邊爲低壓。因此，波面並不穩定，且有放大之趨勢，然後捲曲，而碎成一個個渦旋，速度在一定範圍的條件下，這些渦動的渦旋可保持其個別的特性，更普遍的是有生成不規則的變動現象。

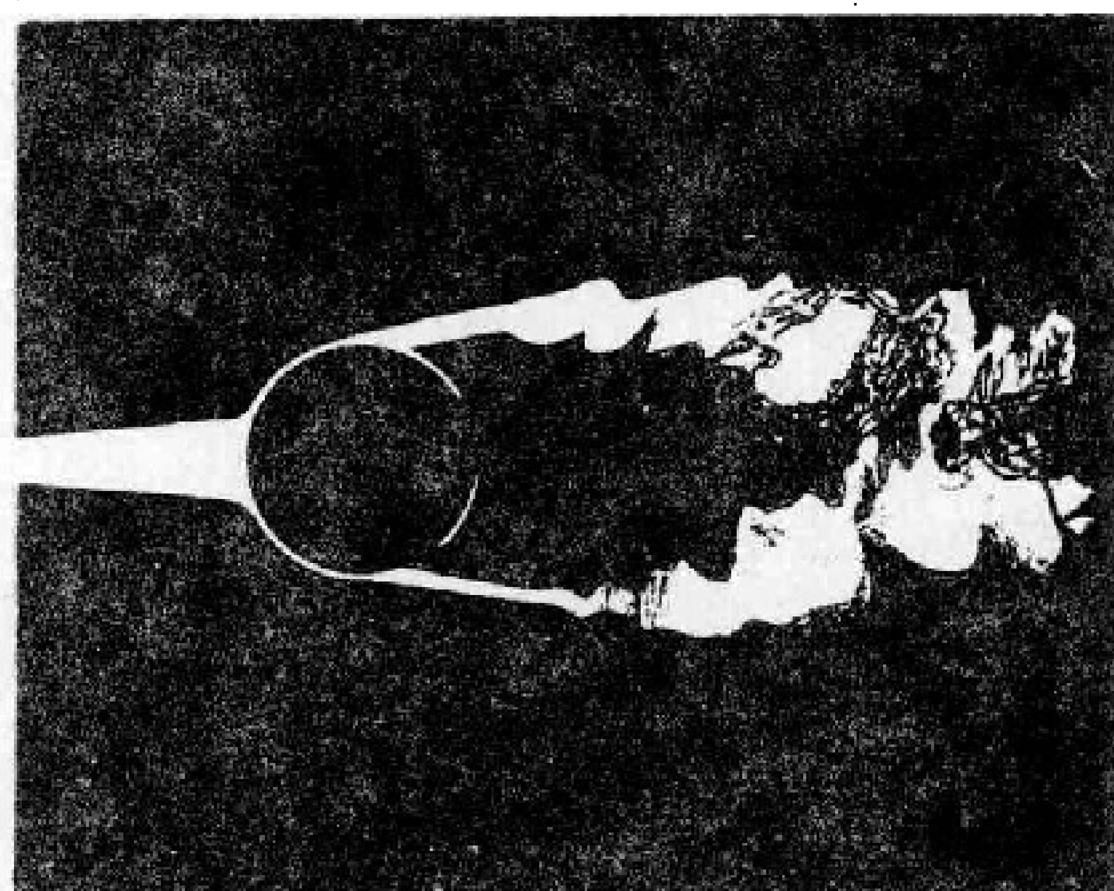


圖 12 — 139　在分流表面產生之湍流

湍流也能在剪力流中生成，其時速度梯度並無突然的中斷不連續發生。雷諾之實驗中，玻璃管中染色線的波動即剪力流變得不穩定而生成湍流，與不連續的情形相似，普通剪力流也有擾動出現的趨勢。一旦出現，問題仍

是究竟它們放大還是消失呢？另外還有幾種不穩定的因素，其中之一理論與實驗皆極相符者是擾動乃由一定範圍頻率之振動所組成，某些頻率可由水動力流場放大。由微擾理論（*perturbation theory*）〔稱為托爾明、舒利序亭（*Tollmien-Schlichting*）理論〕之結論，在一臨界雷諾數之下，

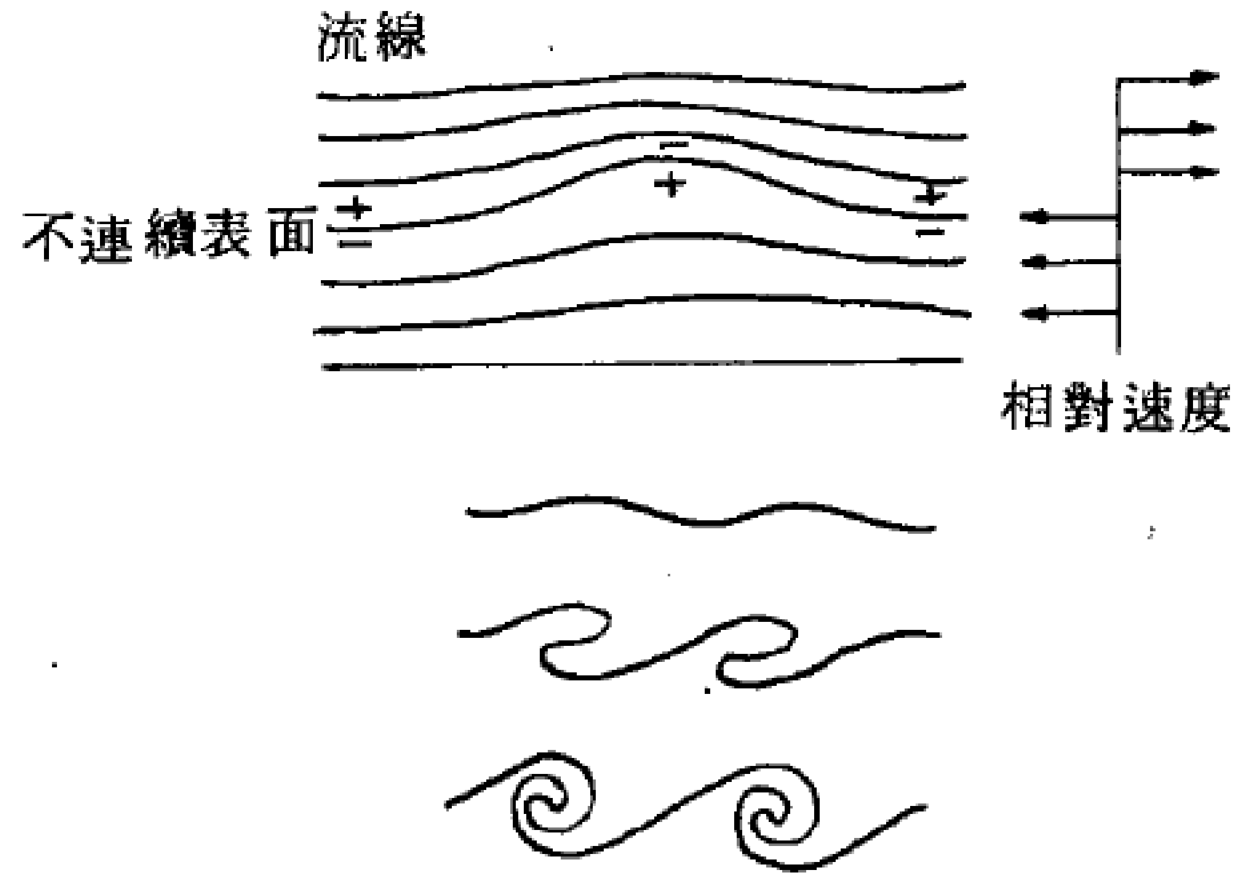


圖 12 — 140
不連續表面上自波動形成之渦旋

所有的擾動都將因阻滯而消失，在此臨界雷諾數之上，某些頻率被放大，其他的被阻滯。二維擾動的二維邊界，其計算結果示如圖 12 — 141 之實線。此圖，縱坐標為無尺寸的頻率，而橫坐標為基於位移厚度 δ 的界面層雷諾數。高於臨界雷諾數此一區域上之環線表示其為中立穩定情況。在 R_{crit} 之下，所有頻率的擾動都為黏滯性所阻滯，高於 R_{crit}，在中立穩定環線內的頻率之擾動能被放大，其餘的因阻滯而消失，此種行為由實驗上已證實之示如圖 12 — 141 之虛線。擾動

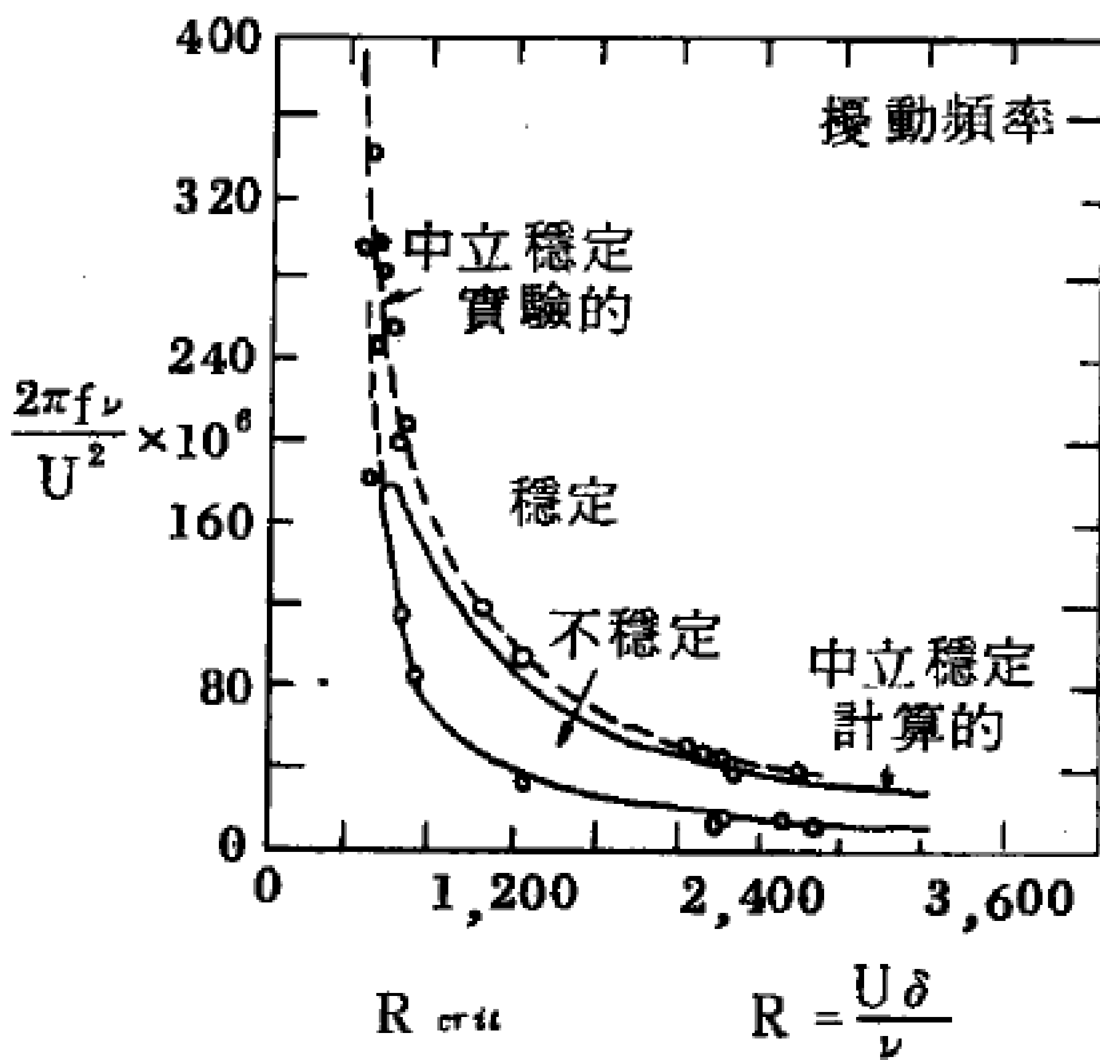


圖 12 — 141
片流界面層之托爾明、舒利序亭穩定圖，縱坐標為無尺寸頻率函數，R_{crit} 之上，在中立穩定環線內之頻率的擾動為不穩定而放大，所有其他頻率之擾動卻是穩定的。

可引入片流界面層中，其法是將一個金屬帶放入界面層中，其邊垂直於

流動方向。在磁場下，選取一定頻率之電流通過，可得控制下之一定振動。改變振動之頻率，中立穩定線與穩定和不穩定區域皆可決定之，所測得之中立穩定情形與理論值甚爲接近。

穩定理論假設不穩定是在流體整個區域上，同時發生而符合臨界條件。因而對平板面上二維界面層，不穩定顯然應存在垂直於流動的全線上。但此與事實不合。擾動只出現成一定之區域或成“點”狀。這些斑點在往下游時長大而侵入片流之流體中，直至各點混合形成一般性的湍流。一點擾動之散佈與放大成湍流“塊”。顯然，湍流的形成有三維的特性，同樣的現象也出現於圓管中，雷諾過渡現象中有點沿管壁發生。由雷諾之實驗，即染色流線碎成湍流的現象，顯然也是這些斑點生成湍流的結果。湍流斑點生成的作用似乎是由於微擾動之壯大，其放大作用已由微擾理論所預測。其中一觀點是，開始的二維擾動被扭成集中的三維渦旋系統而成湍流斑點。另一觀點是設基本擾動爲三維的，而髮夾式的渦旋被生成，變得不穩定而出現湍流斑點來。

【涅恩斯特】(**Walther Nernst** 1864—1941)

德國物理學家及化學家。1864 年六月二十五日生於西普魯士。先後在蘇黎世、柏林、格雷茨、烏茲堡等大學攻讀。1905 年任柏林大學物理化學教授，1925 年任同校物理研究所所長。涅恩斯特研究範圍極廣；曾發明電弧燈，測定低溫時的比熱及極高溫度時的蒸氣密度，研究電解、溶液的滲透及可逆電池等，而以陳述所謂熱力學第三定律最爲出名。1920 年獲諾貝爾化學獎，1941 年十一月十八日逝於柏林，1951 年其骨灰重葬於哥丁根。

【涅恩斯特熱定理】(**Nernst heat theorem**)

對一均勻系統而言，在絕對零度時，自由能與熱容隨溫度的改變率而趨於零。又稱爲涅恩斯特、浦朗克定理，就是熱力學第三定律。

參閱“熱力學第三定律(*The third law of thermodynamics*)”

條。

【焰光譜】(Flame spectrum)

來自揮發物質燃燒中之光譜。

【焚風】(Foehn)

濕度高的氣流越過山脈時，氣溫變得非常高，這種現象叫做焚風現象。

氣流沿著山的斜面而上升時，由於氣溫下降，水蒸氣會達到飽和的狀態，因而形成雲，或雨。這時，由於水蒸氣凝結的散出熱，氣溫的降低比率是高100米約0.5°C 。這個氣流越過山頂而下降時，氣溫上升，濕度漸漸降低。這時的氣流不含水份（液體狀態），所以沒有潛熱（ *latent heat* ）的影響。氣溫上升的比率是高100*m*約1℃。因此下降到和原先同高時，氣溫比以前高了許多，所吹的都是乾燥熱風。

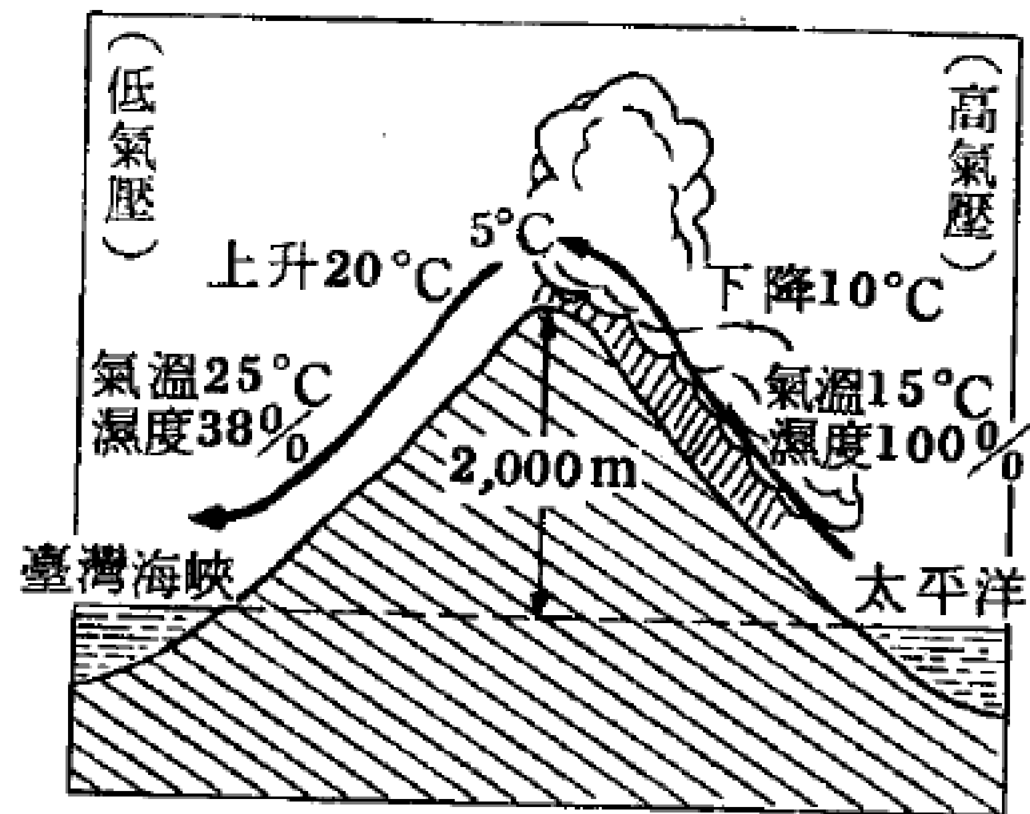


圖12—142　焚風現象

例如，太平洋吹來高溫、高濕的風，越過臺灣的中央山脈，向臺灣海峽吹下去時，由於焚風現象而變成高溫的乾燥空氣即乾燥熱風。

【無人太空船】(Astronautless spacecraft)

在太空人還未登陸月球或其他星球之前，利用攜帶儀器的太空船登陸是能獲得月球和其他星球有關資料的最好辦法。美國太空總署所發射的一些太空船，強烈的增進了人類對月球、火星及金星的知識，這些知識也就是我們在將來能送太空人到那裏登陸的基石。美國的無人月球太空船及無人星際太空船，它們包括有爲探測月球的游騎兵（ *Ranger*）、環月者（ *Lunar Orbiter* ）和測量員（ *Surveyor*）等太空船，探測星際（包括太陽、火星、金星和太空四周）的水手號（ *Mariner* ）、航行家

(*Voyager*) 和開拓者 (*Pioneer*) 等太空船。

【無方向性微音器】(Non-directional microphone)

不論聲音來自何方，微音器對之都作均等響應。

【無功功率】(Reactive power)

一種在交流的一個半週內，電源將它輸送給電路中的電抗，而在另一個半週內，又自電抗將它取回的功率。換句話說，無功功率所表示的不是電路中所消耗的能量，而是往返於電路與電源之間的能量，即暫時由電容或電感所儲存，後來又重新還給電源的能量。電路中的無功功率用電路的端電壓與電路中電流無功份量的乘積來表示。因爲電路中的電流無功份量可能比有功份量大得多，所以電路中的無功功率便可能遠大於電路中所實際消耗的功率。

【無功功率計】(Wattless power meter)

電表記錄的功率屬視功率，其功率因數爲零者。

【無功部分】(Wattless component)

如阻抗中的電抗成分。

【無功電流】(Wattless current)

如電流通過純感應量或電容量。

【無向性介質】(Isotropic medium)

即各向皆同性質的介質。

【無向量】(Scalar)

無方向之量；例如時間及容積等均爲無向量，因其僅需一數值即足以確定之，亦即純量。

【無安電路】(Astable circuit)

一種電子線路，不需加外波觸發能產生連續的波形。

【無序】(Disordered)

熱是無序的能量，以此兩字可解釋熱的性質 (能量不是無序也能存

在)，例如一顆飛行中的步槍子彈或一個^{235}U原子即帶著有序的(*ordered*)能量。子彈的運動屬於運動的(*kinetic*)，當子彈打中鋼板而停止時，其運動的能量即傳給子彈和鋼板中之原子的散亂運動，成爲熱形式之無序能量。而存於鈾原子中之能量稱爲位能，包括電力，該力使成分質子相互斥散。當原子分裂時，碎片運動的能量經碰撞而轉變爲電子和其他鄰近物體之原子的散亂運動，即變爲熱。位能的轉變爲熱是原子核反應器的運轉原理。

這兩例說明能量一旦成爲無序即變爲熱的一般原理，反之無能量時無序亦能存在，無序一旦能量化即變爲熱。一塊普通鈾中的^{235}U和^{238}U原子散亂混合，但此無序並不帶能量。

欲更進一步了解須就數量上討論，而以數目準確測量熱量(首先欲指明熱，顯然至少須用兩數：一用以測量能量，另一用以測量無序的量。能量以實用單位卡量之)。無序的量則以稱爲熵(*entropy*)的數學觀念量之。

若無序和熵之間有關聯，則無序像熵一樣，在自然過程中必增加。試用自由膨脹(*free expansion*)和熱傳導(*conduction of heat*)二例，以證明系統及環境的無序的確增加。首先將用無序的合理之性質觀念，然後再較嚴格地定義無序。這兩例使人相信自然過程有向更爲無序的狀態進行的趨勢。

在統計力學(*Statistical mechanics*)中，對無序給予正確的意義，以

$$S = k \ln w \qquad (1)$$

表示無序與熵之關係。此處k爲波茲曼常數，S爲系統的熵，w可稱爲無序參數(*disorder parameter*)，是系統存在於一狀態之或然率，此或然率是相對於系統之所有可能存在之狀態而言。這式將熱動學或巨觀量熵，與統計或微觀量或然率相連。

茲以計算理想氣體等溫膨脹時熵之改變說明之，分子數和溫度均不

改變，但體積改變。在體積V之區域內可發現一分子的或然率與V成正比；亦即V愈大，在V內發現分子的機會也愈大，因此在體積V內發現一單分子的或然率爲

$$w_1 = cV$$

式中c爲常數。在體積V內同時發現N個分子的或然率爲w_1的N次乘積，即體積V內含有N個分子時之狀態的或然率爲

$$w = w_1^N = (cV)^N \qquad (2)$$

例如若在V內發現一個分子的或然率爲$\frac{1}{2}$（即50％之機會在V內，50％之機會在V以外），則在V中發現二分子的或然率爲$\frac{1}{4}$。此時有四種同樣可能的狀態（均在V內；均在V外；一在V內，另一在V外；一在V外，另一在V內），只有其中之一是兩分子均在V內的狀態。

若合併（1）式和（2）式得

$$S = kN(\ln c + \ln V)$$

因此體積V_f的狀態和體積V_i的狀態間之熵差（溫度和分子數保持一定）爲

$$S_f - S_i = kN(\ln c + \ln V_f) - kN(\ln c + \ln V_i)$$
$$= kN \ln\frac{V_f}{V_i} = \frac{RN}{N_0}\ln\frac{V_f}{V_i} = \mu R \ln\frac{V_f}{V_i}$$

上述在自由膨脹中無序增加，係以（2）式爲根據；膨脹前，無序參數由該式得$(cV)^N$體積膨脹爲兩倍後，無序參數爲$(c2V)^N$。

【無序合金】（Disordered alloys）

合金可依其原子彼此間是否作週期性的排列，而分爲有序合金與無序合金。若一合金含有兩類的金屬原子A和B，且在此合金內，A和B類原子的數目相等。當A與B類原子彼此之間作規則性的週期排列，此合金稱爲有序合金。反之，當A與B類原子之間任意排列時，此合金則稱爲無序合金。序的程度常決定一合金的性質。

【無抗電路】(Non-reactive circuit)

沒有容抗及感抗存在的純電阻電路。

【無定向天線】(Non-directive antenna)

沒有方向性的天線。

【無定向針】(Astatic needle)

取磁針二，反其磁極方向，並列懸之，則其對於地磁之作用，上下兩針剛好相反，故失其指南北之作用，於任何位置，皆可靜止，故謂之無定向針。

【無定向電流計】(Astatic galvanometer)

用無定向針(*astatic needle*)所作之電流計，針之周圍以線圈繞之，如圖12—143 。其電流計裝置如圖12—144，即取無定向針，以細絲懸之，其下針置於用線圈曲繞之木框內，上針令在線圈外，且使得於刻度之圓盤上自由旋轉，如圖12—143 所示方向，通以電流，則上下兩針，左端俱撥向紙背，右端俱撥向紙面，爲力既倍，而反對此運動，令磁針仍復原位之地磁力，又極微少，故電流雖弱，而磁針之變位頗大，便於測定。

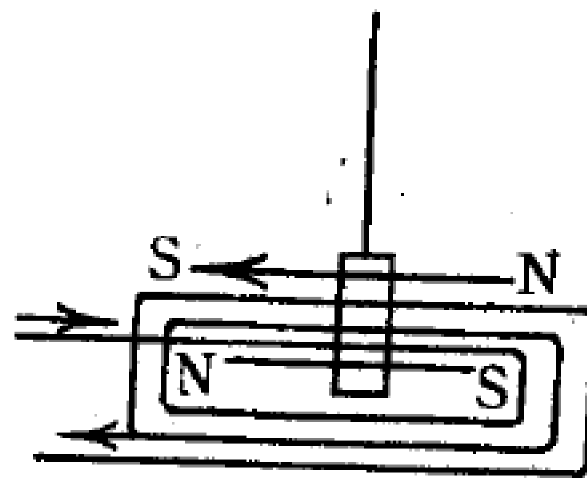


圖 12 — 143

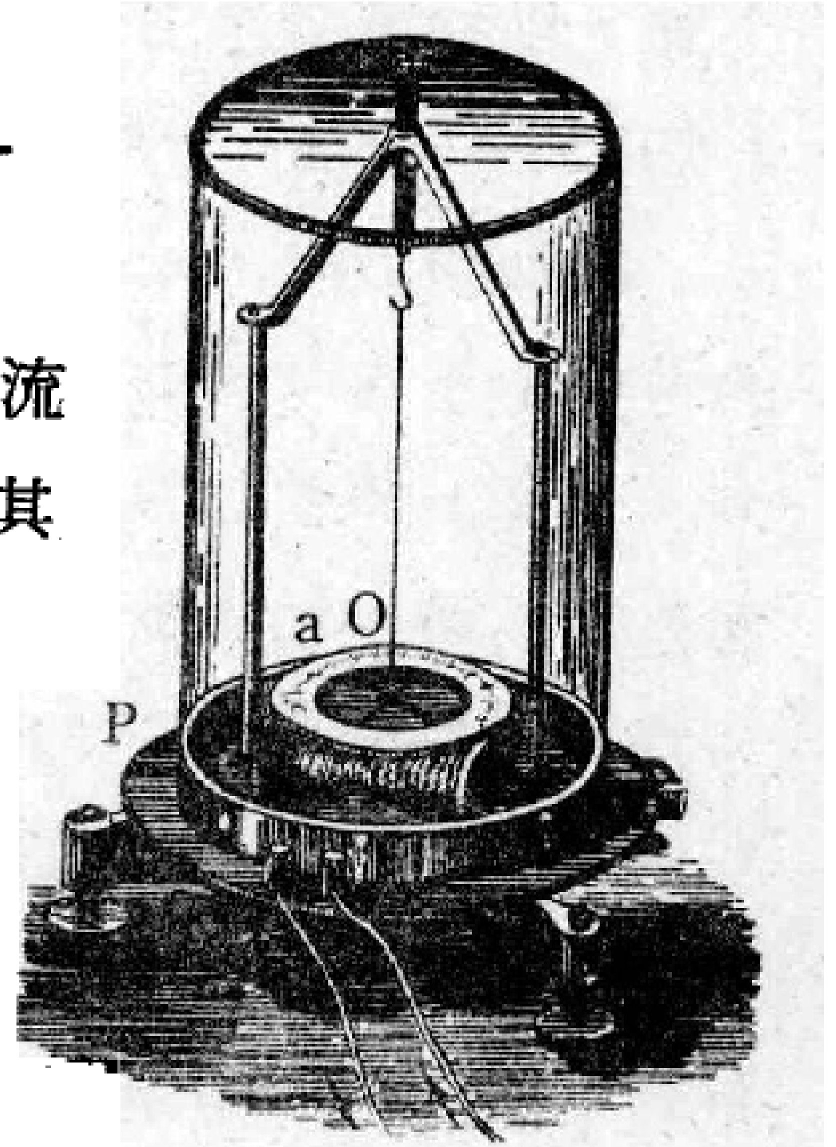


圖 12 — 144

【無定形】(Amorphous)

即非晶形。就固體的形狀而論，可區分爲兩種：結晶形(*crystalline*)及無定形。這完全決定於原子(或分子)的位置，是否作規則性的排列。固體的原子由於承受較強的結合力，而運動得非常緩慢。因此當一大堆原子聚集時，它們便會像被膠住一般地排列著，而且盡可能維

持最低的位能。如果某些原子偶然以某種方式排列，而達到最低的位能，則其他的原子亦有這種排列的傾向，使全體位能達到最小。因此固體的分子，常常以某種特殊的排列方式出現，並表現著重覆的週期性。這便是晶體，但有少數固體，卻沒有這種規則的排列，如玻璃、瀝青、石蠟等，便叫無定形固體。

【無風】(Stagnant air)

無風之產生，乃因流動甚慢之反旋風(*anticylone*)，使空氣停滯不動，以致無法產生橫向之對流的緣故。

【無限小轉動】(Infinitesimal rotation)

轉動的方向，是以轉動軸(其指向遵照右手定則)的方向爲角位移的方向；又若以轉動角度的大小爲角位移的大小，則角位移似乎也是向量。可是，轉動軸的方向並不表示著物體有朝著這個方向移動的現象，而是說物體在和轉動軸垂直的平面上運動。因此，角位移(以及角速度、角加速度等)是不是眞的也算向量，就不能很簡單地下結論了。

一般討論這個問題都從無限小轉動和有限轉動來說明：

1. 無限小轉動是坐標軸的一種正交變換，使一向量的各分量產生無限小的變化。用矩陣表示向量和變換，可寫爲

$$d\vec{A}=\vec{A}'-\vec{A}=\epsilon\vec{A}$$

ϵ 爲反對稱矩陣

$$\epsilon=\begin{pmatrix}0 & d\Omega_3 & -d\Omega_2\\ -d\Omega_3 & 0 & d\Omega_1\\ d\Omega_2 & -d\Omega_1 & 0\end{pmatrix}$$

由以上二式可得 $d\vec{A}=\vec{A}\times d\vec{\Omega}$，即 $d\Omega_i$ 可視爲 $d\Omega$ 的各分量。但 $d\Omega$ 的性質顯示它不是一般的向量，而是軸向量或稱準向量。所以用矩陣描述無限小轉動，便導出向量 $d\Omega$ 以表示無限小轉動。

2. 有限轉動無法用向量表示，而且也不可交換，因有限角度的轉

動，與轉動（轉動軸不同）的先後次序有關。不同的轉動次序，會有不同的結果，不符向量加法的交換律。

由於無限小變換相當於一種轉動，而有限轉動可視爲由無數無限小轉動連續作用而得，所以一般的有限變換可類似地對應於有限轉動。

【無限宇宙】（ Infinite universe ）

我們知道，正曲率面（例如球面）是自行封閉的，它有一定的面積，但負曲率面（例如馬鞍面）則伸展到無窮。三度空間與這個完全一樣。因爲宇宙半徑曲率是這樣之大，要研究它的性質也必須基於大尺度來量度我們所居住的宇宙空間。從天文觀察的觀點講，最方便的關係是體積與半徑間的關係，所觀察的結果與歐氏空間幾何定理的偏差指出三度空間的曲率之性質。

在歐氏幾何裏，體積是隨半徑的三次方增加的，但正曲率空間體積的增加則小於半徑的三次方增加，而負曲率空間體積的增加則大於半徑的三次方增加。根據這種性質，我們可以算一算離地球某一距離時，距離增加與銀河系（*Milky Way*）增加的關係，因爲我們曾假設星河系是均勻分佈在宇宙空間的，因此，星河系數目的增加就相當於體積的增加。也就是說，星河系數目的增加大於距離的三次方增加，則宇宙空間的曲率是負的，反過來則是正曲率空間。遠處星河的距離可由亮度與距離平方反比關係算出。雖然星河亮度的變化很大，但假若有許多這種觀察資料，則其誤差就減小了。從這種得到的結論是：宇宙空間的曲率是正的，其半徑大約只有幾十億光年。

當然，這個結論絕不是決定性的，因爲在估計星河距離時，我們假設每個星河的亮度是不隨時間變化的。但事實上，在0.5，1，1.5及2億光年距離處的星河，它的光是在0.5，1，1.5及2億年之前放出來的。而星河中每個星球都有一定的演化過程，因此它們的組成物及總亮度一定也隨年齡而變。尤其是一些特別亮的星球（如藍星）的焚毀絕不

能由它所形成的幾顆新星的亮度來代替，因此，星河亮度會隨年齡減弱。將亮度修正後所得的星河距離較前面所得的距離大了很多，這樣就把結論中空間曲率的符號倒了過來。事實上，每十億年百分之幾的亮度修正就可使我們的宇宙空間變成開放性空間。很不幸的是，我們現時的星河演化知識還無法使我們能判斷孰是孰非。

另外一種解決空間曲率問題的方法是由曲率及現時宇宙行爲的關係上著手。宇宙基本公式的數學答案指出，脈動宇宙不單在時間上是週期性的，在空間上也是週期性的（封閉的），而非週期性的，不斷膨脹的宇宙則是開放性的及無窮大的。根據前面的討論，我們的宇宙似乎是屬於第二類的開放性的及無窮大的空間。

當一個人第一次聽到“我們的宇宙起始於一種濃縮的狀態，然後繼續不斷地膨脹”，他的第一個反應必然是“那麽在開始膨脹前宇宙有多大？”假如我們的宇宙是有限的，設它的直徑有現在觀察到的區域的十倍那麽大，則這個問題就有確定的物理意義了。因爲現在的宇宙平均密度是 $10^{-30}\ gm/cm^3$，又因爲相當於最大濃縮狀態的核子流體的密度是 $10^{14}\ gm/cm^3$，故現時的宇宙較起始時稀釋了 10^{44} 倍。這個比例相當於 $\sqrt[3]{10^{44}}$ 或大約 5×10^{14} 倍於直徑，假如現在所觀察到的區域其直徑是50億光年，則起始時必被擠在0.00001光年或大約 10^8 公里的範圍內。因此，宇宙起始的直徑大約是 10^8 公里，較小於太陽系的木星。

然而我們說我們的宇宙更近乎是無窮大的。那麽，不管你怎樣壓縮法，宇宙永遠維持無窮大的。這個觀念可以由下面這個例子來說明：

假如一家旅社有有限的房間，所有的房間都住了客人。有一位新旅客到來，帳房告訴他說已客滿，請他另找一家旅社。但假如我們有一家旅社，它有無窮多間房間。那麽，縱然所有的房間都已客滿，有一位新旅客來時，帳房可以將一號房的旅客搬到二號房，二號房的搬到三號房，三號房的搬到四號房等等，而將一號房空出給這位新旅客。縱然現

在有無窮多的新旅客要房間，這位帳房還是可以將一號房的旅客搬到二號房，二號房的搬到四號房，四號房的搬到六號房等等，也就是說將舊房客全換到雙號房間，而將單號房間騰空給新房客們。

因此，不管怎樣收縮或膨脹，無窮仍然是無窮。而且無窮膨脹的宇宙永遠是無窮的。在這種情況下唯一的區別是，假如我們將現在的宇宙分成每立方米一小格，那麼在過去，這個小格也許是一立方厘米或更小一點，在將來它可能是一立方公里或更大一點。因此，我們要說那裏是“膨脹中心”是沒有多大道理的，事實上我們可以將任何一個小方格當作中心，而說宇宙就從這個小方格向外膨脹。住在銀河系的人可以說我們現在所處的空間是宇宙膨脹中心，但位在另一個星河系的人也可以說他那個地方就是“膨脹中心”。

至於肯定地說我們的宇宙到底是什麼個形狀則須有更多的天文觀測資料來研判，到目前為止，人類所已經作到的實在是可憐得很！

【無限阻抗檢波器】(Infinite impedance detector)

利用陰極電路作輸出之檢波器。

【無限矩陣】(Infinite matrix)

在矩陣中有無限多的行和列，我們稱為無限矩陣。無限矩陣和有限矩陣同樣有加減法和乘法的性質，只要其無限數的和能夠收斂，例如以 c_{mn} ，a_{mn} 和 b_{mn} 分別表示無限矩陣 C、A 和 B 的元素。則

$$C_{lk} = \sum_{m=1}^{\infty} a_{lm} b_{mk}$$

收斂時，表示

$$C = AB$$

無限矩陣的行或列可用不連續的整數表示，亦可用連續的實數，此時 AB 的乘積成為行列的積分形式。

無限矩陣的其他性質如厄米特 (*Hermite*)、么正性等均與有限矩

陣相同。而其單位矩陣 I，在連續和不連續情形下可以寫成（δ_{mn}）或（$\delta_{(r-r')}$）兩種形式。其中 m，n 爲整數，且 m，$n\to\infty$，r，r' 爲連續的實數，r 代表列，r' 代表行。I 的性質是

$$AI=IA=A$$

$$AA^{-1}=A^{-1}A=I$$

【無限深的方阱狀位能】（Infinite square well potential energy）

無限深的方阱狀位能，即

$$V(x)=\begin{cases}0 & -\frac{a}{2}<x<\frac{a}{2}\\ \infty & x<-\frac{a}{2}\quad x>\frac{a}{2}\end{cases}$$

我們將空間分爲三部分（如圖 12—145所示），在無限大位的部分，波函數必爲零，因爲若位能爲有限常數時

$$\Psi(x)\infty e^{-\sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}}|x|}$$

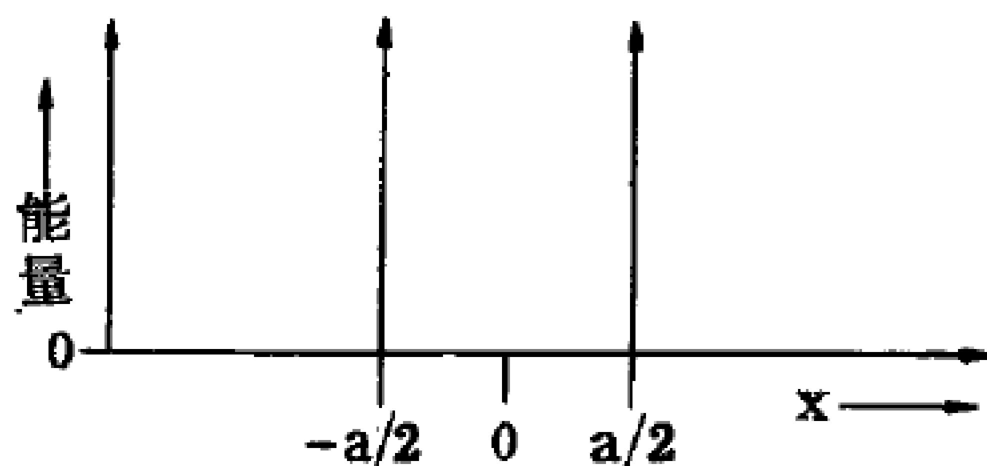


圖 12—145　無限深方阱狀位能

在 $V_0\to\infty$ 時，$\Psi(x)\to 0$。而在中間那部分，不隨時變的薛丁格方程式（*Schrödinger equation of time independent*）的解應爲

$$\psi(x)=A\sin kx+B\cos kx\quad\left(-\frac{a}{2}\leqq x\leqq\frac{a}{2}\right)$$

其中 $k=\sqrt{2mE/\hbar^2}$。

現在，我們要求波函數 $\Psi(x)$ 必須是連續的，因此

$$\Psi\left(\frac{a}{2}\right)=0\quad\Psi\left(-\frac{a}{2}\right)=0\qquad(1)$$

（1）式給我們的條件是

$$A=0\quad k=\frac{n\pi}{a}\quad n=1,3,5\cdots\cdots\qquad(2)$$

或是

$$B=0 \quad k=\frac{n\pi}{a} \quad n=2,4,6\cdots\cdots \qquad (3)$$

（2），（3）兩式告訴我們，並非所有的 k 都能存在，只有符合這兩式子的 k 才被允許，也就是只能有 $E=\frac{\pi^2\hbar^2n^2}{2ma^2}$（$n=1,2,3\cdots\cdots$）的能量才能符合薛丁格方程式的要求，這是所謂的量子化最簡單的例子。

事實上，這些不隨時變的波函數，亦即是漢彌頓的固有函數，我們將這些固有函數寫出來

$$\Psi_n(x)=\begin{cases}\left.\begin{array}{l}\sqrt{2/a}\cos(n\pi x/a),\ n=1,3,5\cdots\\ \sqrt{2/a}\sin(n\pi x/a),\ n=2,4,6\cdots\end{array}\right\}\left(-\frac{a}{2}\leq x\leq\frac{a}{2}\right)\\ 0 \qquad\qquad \left(x\leq-\frac{a}{2}\ 或\ x\geq\frac{a}{2}\right)\end{cases}$$

所有的 Ψ_n 便構成一組完整的函數。前面的 $\sqrt{2/a}$ 的因數是由於歸一的（*normalized*）結果；因爲需要

$$\int_{-\infty}^{\infty}\Psi_n^*(x)\Psi_n(x)dx=1$$

而

$$\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}}\cos^2(kx)dx=\frac{a}{2}$$

這就得出歸一的因數。我們將這些固有函數之固有值（即是被允許的能量值），以圖 12—146 畫出，如果寫出其整個波函數，則爲

$$\Psi_n(x,t)=\begin{cases}\left.\begin{array}{l}\sqrt{2/a}\cos(n\pi x/a)e^{-i\frac{n^2\pi^2\hbar^2}{2ma^2}t} \quad (n=1,3,5\cdots)\\ \sqrt{2/a}\sin(n\pi x/a)e^{-i\frac{n^2\pi^2\hbar^2}{2ma^2}t} \quad (n=2,4,6\cdots)\end{array}\right\}\left(-\frac{a}{2}\leq x\leq\frac{a}{2}\right)\\ 0 \qquad\qquad \left(x\leq-\frac{a}{2}或x\geq\frac{a}{2}\right)\end{cases}$$

波函數的通解應爲這些函數的線型組合，顯而易見地，在經過組合後，它就沒有固定的能量了。

我們可以注意到，在這個例題中，$\frac{d\Psi(x)}{dx}$ 在 $\pm\frac{a}{2}$ 處並不連續，這與前面的敘述，似乎發生了抵觸，可是，我們知道當位能不是有限時，前面的 $\frac{d\Psi(x)}{dx}$ 必須連續的理由就已經不存在了。另外還有一點很有趣的結果是我們可以看到最低的能量固有值，即

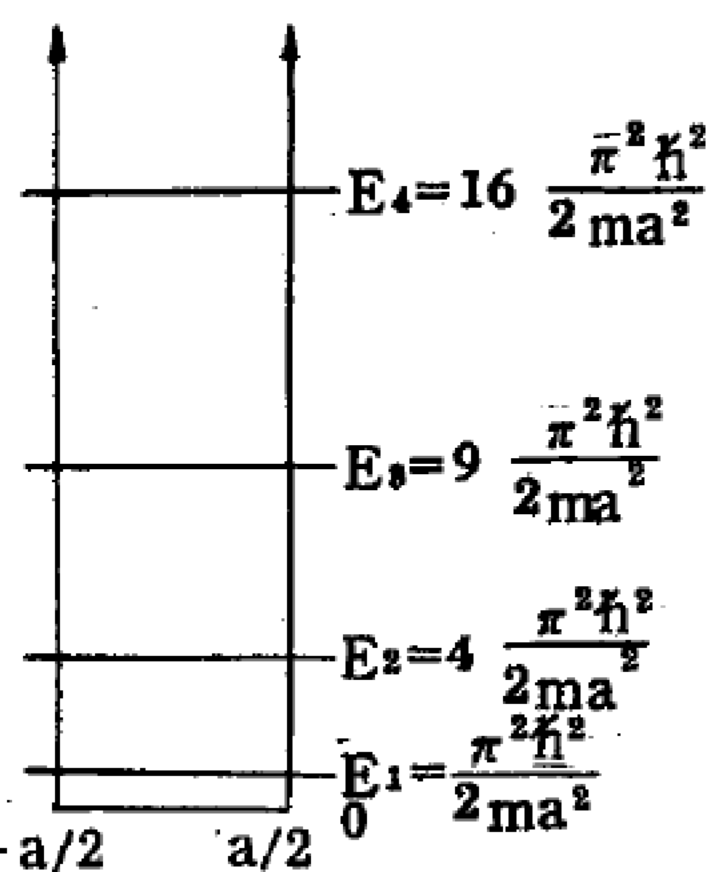


圖 12 — 146
無限方阱狀位能內的先頭幾個能量固有值

$$E_1=\frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}$$

而不是零，這稱之爲零點能量（ *zero point energy* ），其原因是由於測不準原理（ *uncertainty principle* ）的表現，因爲測不準原理不能允許有零能量的存在，這粒子是被限制在大小爲 a 的範圍，因此它的動量會有

$$\Delta p \simeq \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{\hbar}{a}$$

的不確定，因此它的能量不可能爲零，因爲在那種情況下一定把動量限制成零。如果能量是 E_1 ，則其動量變動的範圍大致是

$$p_1=\sqrt{2mE_1} = \pi\hbar/a$$

而因此粒子之動量有兩不同反向，而其動量的不確定就有

$$\Delta p_x = 2\pi\hbar/a$$

此與測不準原理相符。

【無規行走】（ Random walk ）

今有一人從原點無規則的向前（正 x 方向）或向後（負 x 方向）行走，每次行走之距離爲 1 。行走 N 次以後此人離原點多遠？這個問題通常一般人都期望其最後距離爲零。但實際上，當 N 增大時，此人很可能

更遠離原點。這一個典型的無規行走問題，爲討論這種情形，我們求行走距離D之平方的平均值。因此 D^2 值在每一行走時不論向前或向後均爲 1 。第一步必定有$D_1^2 = 1$，計算N步時，D_N^2 之值可由D_{N-1}求得；即D_N 可能是$D_{N-1}+1$，即第N步向前，或可能是$D_{N-1}-1$，向後。故D_N^2 可能是$D_{N-1}^2+2D_{N-1}+1$，或是$D_{N-1}^2-2D_{N-1}+1$。在很多次試驗後，D_N的均方根值$\langle D_N^2 \rangle$爲這兩種可能性的平均值，故$\langle D_N^2 \rangle = \langle D_{N-1}^2 \rangle + 1$。因$\langle D_1^2 \rangle = 1$，而推得結果是$\langle D_N^2 \rangle = N$。此人經$N$步行後離開原點的均方根距離爲

$$D_{rms} = \sqrt{\langle D^2 \rangle} = \sqrt{N}$$

布朗運動(*Brownian movement*)就是一種無規行走，爲懸浮於液體中的小質點與液體分子的無規則碰撞結果。碰撞中每一“步”均與前一“步”無關。假設每一“步”的平均距離均爲L，則經過N次碰撞後的位置R_N之均方根值爲$\langle R_N^2 \rangle = NL^2$。因爲每一“步”的時間平均相同，故$N$與所測量時間 t 成正比。因此，t 時間後此小質點離開起點的均方根距離爲$\langle R^2 \rangle = \alpha t$，$\alpha$ 爲一常數。此結果爲無規行走的特性。

【無規噪音】(Random noise)

來自分子或電子紛擾過劇，彼此碰擊做成瞬變的混亂噪音。

【無旋轉流】(Irrotational flow)

無旋轉流即在流體運動中渦旋度等於零者。當$\vec{v}$爲速度向量時，$\nabla \times \vec{v} = 0$的流動。此時有以$\vec{v} = \nabla \phi$ 所定義的速度位ϕ存在。

當流體中無黏性且密度只爲壓力的函數時，若外力(如重力)可由位所導出，則依照赫爾姆霍茲渦旋定理(*Helmholtz's theorem of vortex*)，無旋轉流始終保持不變。因此黏性小的流體，如水和空氣，其流動通常可視爲無旋流動。又若在靜止流體中忽然使流體運動，即瞬時引起運動，則雖在黏性流體中，流動開始時的狀態亦可視爲無旋轉流動。

【無液氣壓計】(Aneroid barometer)

氣壓計內部不含液體我們稱之爲無液氣壓計，這種氣壓計的主要構造如圖 12 — 147 所示。它對空氣壓力改變最敏感的部分，是一個平置而中空的金屬圓柱體。在加以密封之前，先把裏面的大部分空氣抽出來，使其內部的壓力降低。因爲它的表面非常薄，所以，空氣壓力一旦有了變化，它就會凹進或凸出。面上連著一組非常精細的槓桿，由於氣壓變化雖有極輕微的變動，都經由槓桿加以放大，傳到指針上去。而指針在一刻度盤上移動。刻度的範圍，以普通氣壓的變化爲準一般爲 28 吋至 32吋水銀柱。如果加上一枝墨水筆和記錄紙，可將氣壓變化，畫成連續的線條，就成了自記氣壓計。

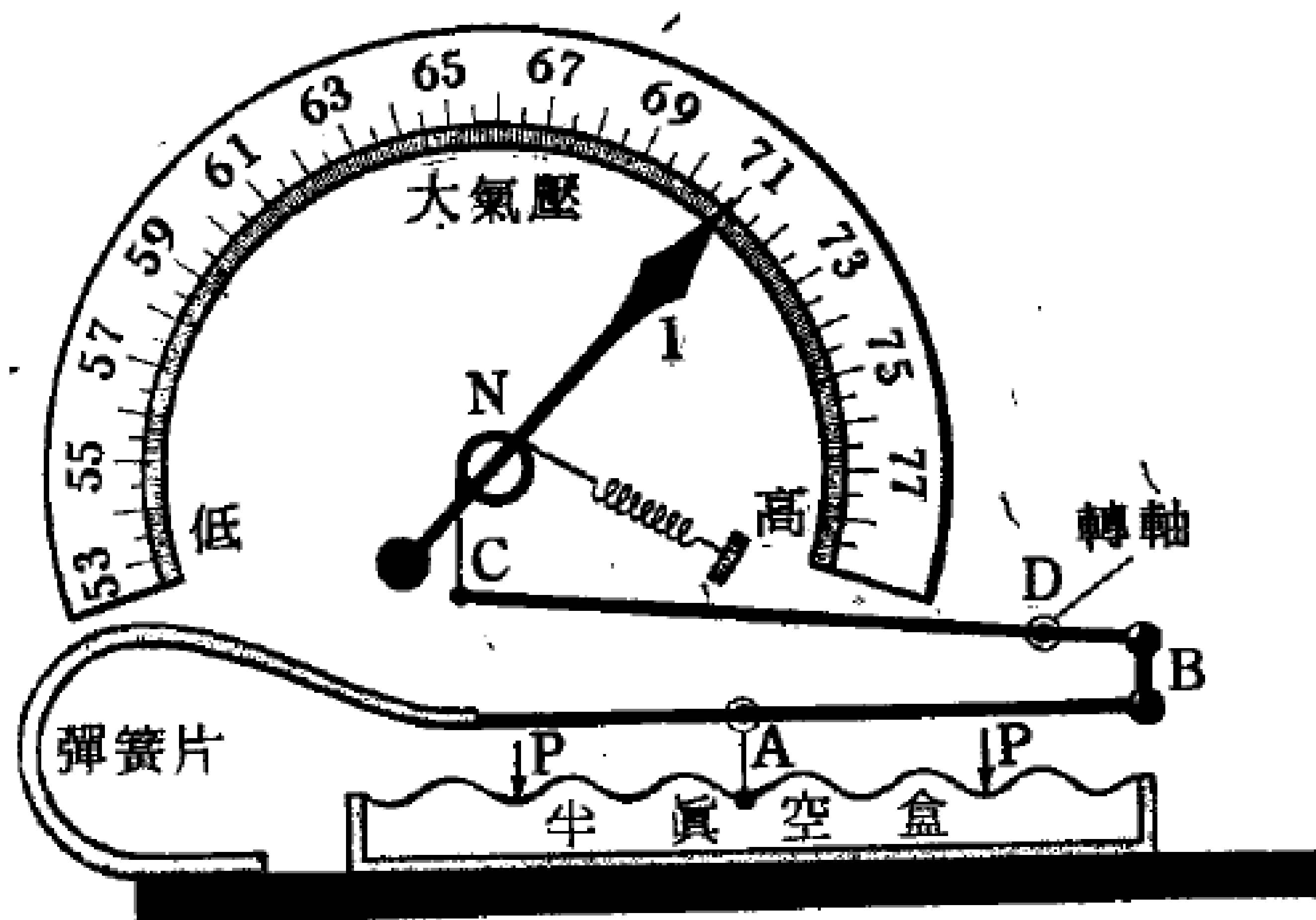


圖 12 — 147　無液氣壓計

【無偏線】(Agonic line)

磁羅盤上任一點所指之線設無變化或偏差 (*declination*) 時稱爲無偏線。故此線正指磁之眞北。磁極之無偏線每年之移動量極微。

【無載】(No-load)

這是儀器、機器等在沒有負載的情況下運用。儀器、機器等在無載運轉時沒有功率輸出，但自身通常要耗用一定的功率。例如沒有負載的變壓器 (次級線圈開路時) 也要從電網耗用一些電流 (所謂變壓器無載電流)，這個流通於初級線圈中的電流會由電網耗用一些功率，此功率使變壓器線圈發熱 (當鋼內有損失存在時，還使鋼心加熱)。

【無感加載】(Non-inductive load)

無電感效應的負荷。

【無感電阻】(Non-inductive resistor)

指以阻力線繞成，但感應量已消滅之阻力器，普通是雙線繞製的。

【無感電容器】(Non-inductive capacitor)

構造上並無感應作用的電容器。

【無感電路】(Non-inductive circuit)

使用上，無感應作用的電路。

【無感線圈】(Non-inductive coil)

在線圈中，此轉與彼轉感應場效果彼此中和者。

【無畸形像】(Distortionless image)

指見到的與實際的形像一致。

【無源偶極子】(Passive dipole)

長度大致等於所用波長的一半的一段導線或一根金屬桿，稱爲無源偶極子。在電磁場的作用下，無源偶極子內就有振盪產生，這種振盪與普通的(有源的)偶極子內的振盪相似。不過兩種偶極子是不同的，有源偶極子的中部接有發射機或接收機，無源偶極子的兩半部分則是互相短接的，而不與任何東西相聯。

偶極子在外部電磁場的作用下產生振盪，此振盪自己建立起來二次電磁場，此場疊加到外部場上，使場的分佈狀況發生變化。由於這種作用，靠近於有源偶極子的無源偶極子就改變了有源偶極子的方向圖。

【無傾線】(Aclinic line)

磁傾角(*magnetic inclination*)爲零之各點之連線，稱爲無傾線。

【無線電】(Radio ; Wireless)

以利用不藉導線而傳播於空間的電磁波爲基礎的技術部門。無線電

這個術語是從拉丁字“ *radiare* ”轉生出來的，就是輻射的意思。這個術語之所以被採用，是因爲利用電磁波時，首先涉及的就是電磁波的輻射。無線電在初期僅僅是被用來作爲發送電報信號的工具，後來才研究成功了利用無線電來發送聲音，這就是電話學（ *Telephony* ）；往後又研究成功了利用無線電來發送影像的方法，成爲電視，並使無線電獲得了各種不同的專門用途如無線電導航、雷達（ *radar* ）、無線電控制等等。此外，無線電領域中的各種方法還在各種各樣的科學技術部門中獲得了極爲廣泛的應用。例如用於各種生產過程的自動化及遠距離控制，用來研究和記錄各種各樣不同的現象，用在電影和錄音方面，用在醫學方面等等。

【無線電干涉儀】（ Radio interferometer ）

爲量度微距例如電源直徑小於一弧分而發展成功之電波天文學（ *Radio astronomy*）儀器，以研究大小同等級之物體亮度及其分佈。這種儀器可以看作輻射計（ *radiometer* ）或無線電（電波）遠鏡（ *radio telescope* ），其配置特殊而靈敏度亦特別高，可以產生並且鑑別兩波列經過干涉後之結果。

此類干涉儀種類很多，大致可分爲兩大類：(1)雙波干涉儀（ *twin-wave interferometer* ），(2)複波干涉儀（ *multiple-wave interferometer* ）。

【無線電干擾】（ Radio interference ）

無線電接收時一切不如意的干擾，包括天然或人爲者。

【無線電中繼臺】（ Radio relay station ）

居間擔任替續工作的電臺。

【無線電回波】（ Radio-echo ）

接收短波（ *short wave*）時，在某些情況下可以見到的無線電信號重複出現的現象。無線電回波的產生，是因爲短波不只是沿最短的途徑

走到接收機，而還有其他的許多道路。例如短波可能繞越地球而從相對的方向進入接收機，其繞越也可能不只一次。在無線電遠程通信時，無線電回波常常要引起廣播的失眞（*distortion*）。

【無線電臺】（Radio station；Wireless station）

用來發送和接收無線電波的一套組合裝置。由於功用不同，無線電臺分為“發射”電臺、“接收”電臺和“收發”電臺。又由於所發射頻率之不同，而可分為調幅（*amplitude modulation*；*A.M.*）及調頻（*frequency modulation*；*F.M.*）兩種。

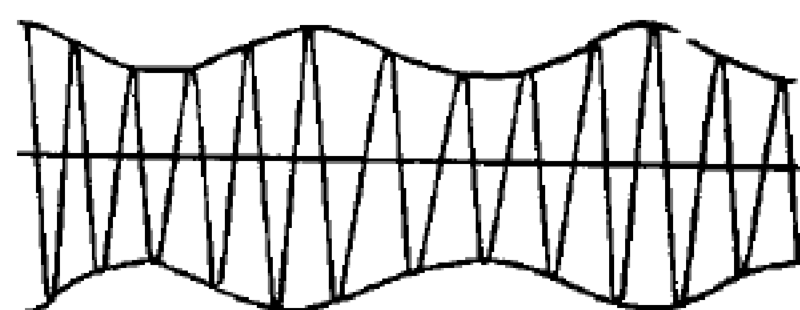


圖 12 — 148
一個調制過的載波，在圖中，$\omega_c/\omega_m=5$，實際無線電波 $\omega_c/\omega_m\sim100$。

無線電電臺發出廣播的情形如下：無線電發播機可發出一個很高頻率的交流電，譬如說 800*KHz*（不過此頻率必須在無線電廣播的頻率帶範圍以內）。我們叫這個振盪為載波（*carrier wave*）。當載波的信號打開時，電臺就發出振幅不變，頻率為 800,000*Hz* 的波。其消息的傳送過程為：當某個人對著麥克風說話時，載波信號的振幅隨著進入麥克風聲音的變化而改變。

以數學上最簡單的情形為例：一個女高音（*soprano*）唱出一個完整的音符，即她的聲帶（*vocal cord*）產生完整的正弦式的振動，我們會得到一個信號，此信號的強度變化如圖 12 — 148 。聲頻的改變（*audio frequency alternation*），即原來聲音的頻率在發播器中被改變，在接受器中又恢復成原來頻率的波。在接受器中可以將載波去掉，而只需看合成波的包跡（*envelope*）即可，因為包跡即表示出聲帶的振動，或說女高音的聲音。擴音器則對應著包跡的頻率而發出振盪，收音者此時聽到的聲音之頻率和原唱者完全一樣。如此說來，應該分辨不出聲音究竟來自電臺的傳送，還是唱者直接發出。事實上，由於許多波的失眞（*distortion*）和其他精微的效應，我們耳朵可以分辨出是收音機還是眞的女高音在唱。

另外無線電臺發射的頻率必須保持在某個距離以外，是一件極其重要的事。因爲，如此各電臺發出波的旁頻帶才不會重疊。同時，接收器的選擇靈敏度也不可太高，高到不能接收旁頻帶的波而只能接收主標稱頻率（*main nominal frequency*）的波（即載波的頻率）。在聲音傳送的時候，事實上這方面的困難並不大，因爲我們耳朵可以聽到的頻率範圍爲±20*KHz*，而我們通常廣播的頻率爲500至1,500*KHz*，所以足夠設立許多電臺。

【無線電波】（Radio wave）

無線電波亦即赫茲波（*Hertzian wave*）。赫茲波除微波波段兼用厘米計其波長外，概用頻率計，其單位爲赫（*Hz*）。其波長範圍在 $10^{-3}\sim10^{4}$ 米之間，頻率範圍在30*KHz*～30,000*MHz*之間。無線電波經國際電信會議分爲七個頻段各頻段的傳播特性，隨頻率高低、地理環境、大氣狀況、電離層及太空磁層而異。玆將一般特性及用途調製如下表：

無線電波之一般特性及用途表

頻率或波段	範圍	傳播特性	缺點	用途	附註
V.L.F. 極低頻率 極長波	30*KHz*以下 10,000米以上	靠地波傳遞。 衰減率、折射率均甚小。 衰落現象不著。 氣候影響微。 適長距離通信。	需高電力。 天地線制龐大繁重。	適於極地及長距離通信。	已入淘汰之列。
L.F. 低頻率 長波	30～300*KHz* 10,000～1,000米	衰落現象較著。 折射率較小。 靠地波傳播。	日出及黃昏時作導航易生角度偏差。	海、空導航。 海岸通信。 警波。 熱帶通信或廣播。	實用上均採用其較高一端之頻率。

M・F・ 中頻率 中波	300～3,000 *KHz* 1,000～100米(其中540～1,650 *KHz*之範圍爲標準廣播頻段)	衰落現象顯著。 射程短。 以地波傳播爲主。 天波亦起顯著作用。	折射及衰減率較大。 射程有限。	空中導航及定向。 海岸通信及警波。 廣播。 150～200米適於熱帶廣播。	半波長天地線制發射效率最高。 150米以下之中波常被用作密碼通信。
H・F・ 高頻率 短波	3～30 *MHz* 100～10米內含六個業餘研究頻段及十個廣播波段。	有越距作用。 衰落現象顯著。 受磁暴影響甚大。 靠天波傳遞。	射程受季節、晝夜之影響。	越洋通信及廣播。 電熱治療。	1/4波長之赫茲式天線發射效率最高。 應適應季節與晝夜而隨時調變波長，否則其射程不同。
V.H.F. 極高頻率 超短波	30～300 *MHz* 10～1米內含兩個業餘研究頻段。 八個電視波道。	直線傳播。 不受電離層反射 大氣分子可使發生散射及繞射。 反射率大折射率小。 受極光反射。	射程短。	調頻廣播及通訊。 導航、定向、航空管制。 電視及雷達。 治療工具。 電熱爐及烤箱。	通信可靠，不受靜電干擾。

	兩個FM.廣播頻道。			星際及太空通信、衛星轉播。脈波通信。	
U.H.F. 特高頻微波	300～3,000 *MHz* 100～10厘米 除調頻、電視、衛星波道外，業餘研究尚無限制。	直線傳播。不受電離層反射大氣分子可使發生散射及繞射。反射率大折射率小。受極光反射。	射程短。	調頻廣播及通訊。導航、定向、航空管制。電視及雷達。治療工具。電熱爐及烤箱。星際及太空通信、衛星轉播及導彈控制、脈波多工通信。	通信可靠，不受靜電干擾。
S.H.F. 超高頻微波	內含電視頻道。	直線傳播。不受電離層反射大氣分子可使發生繞射及散射。反射率大折射率小。受極光反射。	射程短。	調頻廣播及通訊。導航、定向、航空管制。電視及雷達。治療工具。電熱爐及烤箱。星際及太空通信、衛星轉播及導彈控制、脈波多工通信。	通信可靠，不受靜電干擾。

當赫茲發現電磁波以後，首先被用於無線電信之傳遞試驗。最早的無線電訊，藉控制火花放電（ *spark discharge* ）時間，構成電碼訊號。火花放電爲波長甚短之減幅波（ *damped wave* ），衰消極快，故不能完成長距離通信，且干擾極大，最初且不知利用天地線制發射電波。後經改良使用電弧放電（ *arc discharge* ）以獲得長波的等幅波（*undamped wave*），通信距離稍增，但其副波干擾仍不能免，且能量至小仍未能作遠距離通信之用。繼後俄國人樸樸夫（ *Popov* ）與義大利業餘無線電家馬可尼（ *Marconi* ）同時異地發明天地線制，馬可尼且於天線中加接調諧電路，卒於試驗越大西洋電碼通信中獲得成功，無線電通信遂臻實用。但由於弧光電波之啓示，誤以爲波長愈長，電力愈大，通信距離愈遠；事實上在短波通信特性未發現以前，確實如此。歐洲各國甚至競以波長 10,000 米以上之長波，耗費巨資建設電臺，並用極低頻交流發電機供應電磁波能直接發射。並經國際協議，規定業餘研究者限於波長 200米以下之短波波段。

長波無線電之傳遞，以地波（ *ground wave* ）爲主。其折射率及海面與平原之吸收率均甚小。在傳遞途中之衰減大致與距離成正比，且受氣候影響甚微。在有效距離內通信可靠，故迄今仍在使用中，惟波長已減至 1,000米左右。長波無線電特別適宜於極地通信及海上導航，因短波無線電在極地失去電離層反射作用，無法達成遠距離通信。長波通信須高大之天線，冰原上如天線重量過巨，覆蓋於冰原上之地衣如一朝破裂，高塔有下沉冰底之虞，爲工程上一大棘手之問題。自超短波及微波通信實用後，已可利用輕簡之轉繼站（ *relay station* ）構成通信網，故長波極地通信已在淘汰之列。

長波無線電波因通過海岸時折射率較小，且在水面傳播時電場強度至爲平均，故極宜於海上導航及定位之用。自二次大戰後，世界各重要海岸與港口，均建有羅蘭（ *LORAN* ， *long rang navigation*）電臺，

利用脈波供海、空航行定位與導航之用。惟1,000米左右之長波電訊，衰落作用甚著，於日出及黃昏時於電波橫過海岸線時易造成方向之偏差，稱爲海岸效應（*shore effect*）。波長最短之長波波段，供海岸通信及警察使用，後者則已逐漸放棄，改用短波及超短波直接通話。

中波波段爲標準廣播，及熱帶（*tropic*）廣播波段，前者波長自200～545米，後者自150～200米。適用於國內及鄰接地區間作大衆傳播之用。國土廣大之國家均規定其最大電力及廣播服務區（*service area*）。最大電力以天線發射之電場強度爲標準。中波廣播波段自540～1,650仟赫（*KHz*），每一電臺以佔用主波左右各5～7.5仟赫之頻帶寬爲限，因此在此波段內同時只能容納數十座電臺，故必須規定服務區，使大、小電力之電臺能就地區及地理性，配合頻率之分配作錯落的交置，俾擴充電臺容量而不致發生互相干擾。但收音機對中波之低頻端，其靈敏度大減，故除強力電臺以外，大都不樂使用。150米以下之中波習慣上被視作短波，短距離電碼通信常使用之。

中波電波之衰落現象甚著，故服務區之規定以輸出電力及有效射程爲標準。但自二次大戰以後，共黨集團首以超等電力從事心戰宣傳，空中秩序大亂，壤土相接之敵國，廣播干擾爲害甚大，於是競相擴增電力形成廣播壁壘。輸出電力1,000瓦特以下之電臺其有效服務區僅得限於50公里以內，致收聽遠距離中波廣播之享受已被完全剝奪。

中波廣播可供空中導向，故戰時受軍方管制，但航空電子定向儀具之發展，此種管制已漸失其重要性。中波電波通過海岸時折射率較大。隔海定向廣播如非直角，可發生35度之偏斜。中波定向廣播，其天線發射電力之增加倍數不出十倍，故須相當巨大之輸出電力始收實效。天地線之設計與佈置對於發射效率關係至大。

短波無線電之頻率在3～30 *MHz*之間，波長範圍爲10～100米。軍中通信以150米以下視爲短波，越洋遠程電碼通信之最短波長約爲

20米。10～20米間之短波，實際上甚少使用。短波無線電在早期被科學界認爲不能作遠程通信，蓋在離電臺極短距離以外，其地面波已被地面吸收殆盡而無從收到訊號也。於是在本世紀初，經國際電信會議公定，只准業餘研究者在短波波段內活動。在當時之觀念中，更無所謂超短波或微波，而所謂短波，其被籠統認定的界限，只在波長200米以下50米以上之範圍而已。

在早期的業餘無線電研究非常自由，業餘者可自由設置無線電臺，在短波波段內作電碼發射，除規定不得作正式通信外，以學術討論爲限。"*X.U.*"爲國際規定之中國地區業餘臺冠號，"8"爲我國之中原區代號，"*C.T.*"爲個人代號。除亞洲地區外，其餘各洲，尤以澳洲、紐西蘭之"*C.Q.*"通信最多。"*C.Q.*"爲盲目呼叫之代號，以電碼拍發之。業餘電臺間通信成功後，彼此寄發紀念片，大小與郵政明信片相同，一面印以業餘臺呼號，個人照片、電臺佈置照片；一面印以通信時有關技術與工程方面的記載，五光十色，琳瑯滿目，一如集郵。由此而建立國際友誼或互贈禮物者頗不乏人。凡完成六大洲通信者，得舉證向美國業餘無線電協會(*A.R.R.L.*)申請證明狀，爲業餘者莫大之榮焉。當時我國之業餘電臺，估計約達二百餘座，大都不出10瓦特之電力，且少數電臺已從事通話試驗。

業餘無線電研究者(*amateur*)，於勤奮的夜半歌聲中作盲目的"*C.Q.*"呼叫，於公開的園地中多方面公佈了獲得藉極小電力完成越洋通信之成果後，引起了科學家及政府之注意，蓋當時各科學先進國家耗巨資以建設之長波電臺，其越洋通信猶未必盡利。業餘家之發明，卒引起無線電通信頻率之革命性轉進，由於第一次世界大戰之發生，而短波首被用於軍中通信，繼即整個短波波段，除保留其中範圍極狹的20*m*、40*m*、80*m*及160*m*的波段供業餘者使用外，整個領域均歸公共通信之用；而業餘者遂向更短波長即超短波波段的自由領域中活動。

短波通信之特點，爲能在越過一靜寂地帶（ *silent zone* ）以後，可作越洋的極遠距離通信而不在乎發射電力之大小。此越距（ *skip distance* ）作用之發現，引起了物理學家對太空科學的研究之逐步進展，而以電離層（ *ionosphere* ）之推斷與發現開其端。

短波無線電訊，由於頻率較高，其電磁波由天線發出後，因地球表面礦物質之吸收率甚高，故不論發射電力多大，不出百哩內外，其沿地面進行之電波即被吸收以盡，其衰減率以對數率隨距離而加快。但在數百哩以外之地區，卻因向空發射之天波（ *sky wave*）受高空電離層之反射而再度出現。首先解釋此項越距現象者，爲肯涅利（*Edwin Kennelly*）及赫維賽德（ *Oliver Heaviside* ）兩人，他們認爲越距現象是由天空的反射波（ *reflected wave*）所造成，而反射波之反射體必爲一類似金屬體，亦即天空中大氣因受紫外線輻射所造成的離子化氣體所造成。於是遂名之爲肯涅利、赫維賽德層（*Kennelly-Heaviside layer* ），嗣經正名爲電離層。

【無線電波之特性】（ Radio - wave characteristics ）

無線電波有四種特性：吸收（ *absorption* ）、反射（ *reflection* ）、散射及折射。蓋電波前進時，遇金屬物，則有一部分被吸收，有一部分即反射而出，且金屬物與電力線波在不垂直不平行之方向者，電波即散射。又電波經過不同之介物，則往往有折射之現象。

【無線電波之傳播】（ Radio wave propagation ）



圖 12 — 149
無線電波之主要傳播方式

由於頻率不同，無線電波從發射天線向接收天線行進的路徑也各有不同。最重要的有地波或地面波（*ground wave* ; *surface wave* ）、地面反射波（ *ground-reflected wave*）、直線波或視線波（ *direct wave* ; *line-of-sight wave* ）

。圖 12 — 149 就是無線電波的主要路徑。

地波只能傳播一非常短的距離，所以地波不能到達如圖 12 — 149 的接收天線位置。如果需要接收地波，必須將發射與接收天線間的距離縮短才行。由圖 12 — 149 可知，發射角度較大的部分天波，都消失在較外層的天空；部分發射角度較小的電波，受帶電荷的電離層偏向，回到地面的接收天線。

【無線電波波譜】(Radio-wave spectrum)

無線電波波譜只是電磁波波譜的一部分，此波譜包含有熱及光放射的波譜、宇宙線及 X 光線的放射波譜。電磁波波譜大約可包含商用電力發電機所發交流電的頻率 (60 赫)、聲頻電波頻率 (20 赫到 15 仟赫)、無線電波頻率 (15 仟赫到 300,000 百萬赫)、紅外線 (約從 400,000 百萬赫到 400,000,000 百萬赫)、可見光線 (約從 400,000,000 百萬赫到 800,000,000 百萬赫)、紫外線 (數十億百萬赫)、X 光線、γ (*gamma*) 線、宇宙線以及幾百萬千兆赫的頻率範圍。所有以上所舉出的各種放射頻率，都是屬於電磁波，其進行速度都是每秒 186,000 哩，只是各種放射的效應不同而已。一般來說，頻率越高，放射波越趨於直線進行，正如光線一樣，此種效應已在高頻率 (微波) 方面發現。高頻率無線電波，所具與光相似的性質，所以可利用微波反射鏡及透鏡，使其生折射、反射以及聚焦成束。

【無線電波道】(Radio channel)

爲某種型式的無線電發送一定寬度的頻帶。例如在長波無線電廣播中，每個無線電波道等於 10 KHz。

【無線電定位儀】(Radio fix)

用以決定信號來處的位置，或決定飛機或船隻的方位。

【無線電星】(Radio star)

一個區部化的無線電噪音源。

【無線電流星】(Radio meteor)

藉流量尾部高離子密度反射無線電信號來探測流星。

【無線電航域】(Radio courses)

無線電航域站(*radio range station*) 提供數個航道或電波束，飛機就可在這些航道上飛行。世界各城市間的空中通路，都由無線電航域所限定。一般將航域分爲兩種，一爲低頻率航域；另一爲特高頻率多向航域。低頻率航域是早期航空電子助航設備的一種；特高頻率多向航域，約在西元1947年才發展成功

參閱“低頻率航域(*Low frequency courses*)”條。

“特高頻率多向航域(*Ultra high frequency polytropic courses*)”條。

【無線電原理】(Radio principle)

專門研究無線電接收與發射學理的科學。

【無線電探空儀】(Radiosonde)

這是測量高層的氣象之器械。把它附在大氣球，使它升上高空去。它在高空所測定的値，由器械中的無線電送信器，用電波送回地上。這個電波在地上受信後，便可知高空的大氣中氣象要素。

氣球到達一定高度後便破裂，而無線電探空儀，便由降落傘送回地面。

又附在氣球上的發振器拍出的電波，以方向探知機調查，並從氣球的流動情形，可測知上空的風向、風速。這種測定器，叫做高空氣象觀測裝置(*rawin*)。

【無線電氣象儀】(Radio meteorograph)

氣象臺使用之極小型的發射機，裝於小盒並懸於氣球下，凌空上升時能將沿途天空上氣壓、雲層密度及濕度等，以信號發送給氣象臺。

【無線電浮標】(Radio buoy)

一種浮標，它通過無線電將在附近航行的潛水艇的槳聲發送給觀察哨、巡邏船或巡邏飛機。這種浮標是一個密封的圓筒，其中裝有由電池組供電的無線電發射機。在浮標下方，到 10 米的深處，裝有一個水下微音器，它收取水下的一切噪聲，並透過發射機發送出去。

【無線電接收機】（Radio receiver）

無線電信號由發射機的天線發射出，經無線電波的路徑，到達電波傳送範圍內某處的接收天線。接收機天線切割部分電磁波，然後將電磁波中所帶有的信息，變成聲頻電波。無論是那一種信號及調變的無線電接收機都需具有下列六種作用（見圖 12—150）：

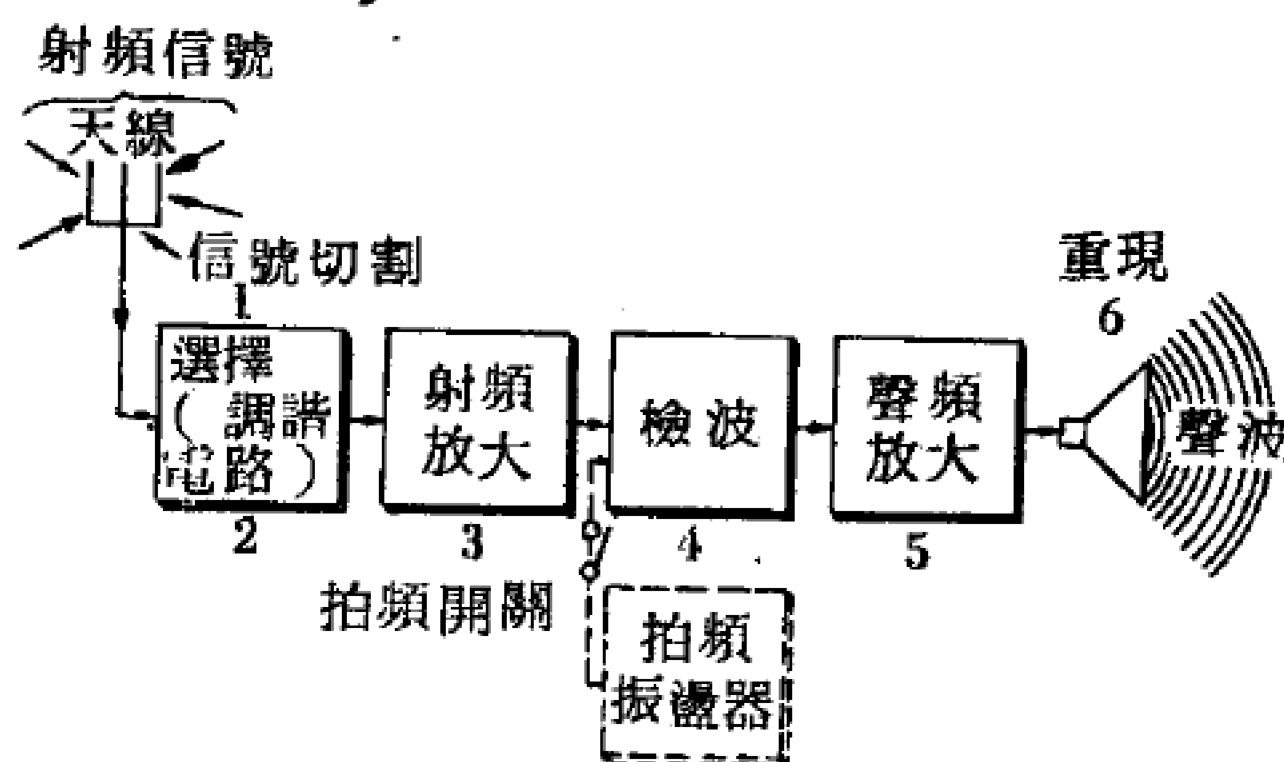


圖 12—150　無線電接收作用

1. 接收天線必須切割部分經過此天線的無線電波。

2. 因爲天線能切割到各種不同頻率的電波，所以諧振電路必須調諧於所欲接收的頻率，方能得到所需的信號。

3. 天線所接收到的微弱信號，在檢波以前，必須先經一級到數級諧振射頻放大器，予以放大。

4. 射頻載波所含有的聲頻信號，必須利用檢波器使其復原。對於頻率調變電波，振幅的大小，需加以限制，有使其恆定的必要。對於振幅恆定的等幅電波（無線電報所用者）的接收，需再加一個拍頻振盪器（*beat-frequency oscillator*），以得到可聽見的聲頻電波。

5. 檢波器所輸出的聲頻信號，必須再經過一級或數級聲頻功率放大器，使其具有足夠的強度，以推動耳機或揚聲器。

6. 必須將已放大的聲頻信號，藉耳機或揚聲器等變爲相應的聲波。

無線電接收機種類很多，按信號特性的不同，可分無線電廣播收音機、無線電報接收機、電視廣播接收機等。

【無線電控制】(Radio control)

利用無線電波操縱遠距離的機械，使被操縱的機械，隨操縱者的意圖，發生預期的動作，這種方法稱無線電控制。在被操縱的機械上，裝有無線電收信機及繼電器等設備。當操縱者運用無線電發信機發出規定信號時，收信機收得這些信號，即能吸動繼電器，而使被操縱的機械動作。無線電控制是自動化領域內的一個重要技術，在軍事方面有很大價值。例如控制裝有電視設備的無人駕駛飛機時，可以準確的進行空中偵察。此外，在測量、太空飛行、探險及其他科學研究方面，應用無線電控制的地方也日益廣泛。

【無線電通信】(Radio communication)

在電子學方面，無線電通信及廣播站的地位是非常重要的。以前電子學的應用雖然還沒有如此廣泛，但是簡單的發射機及接收機就已經存在了；電磁波的存在，是由英國科學家馬克士威(*Clerk Maxwell*)教授在1865 年所發表的數學論文中指出。在1887 年，德國科學家赫茲(*Hertz*)利用簡單的電花發射機(*spark transmitter*)及檢波器，證明出此種神奇電波的存在。1896 年就已經利用一個改良的檢波器將點“·”劃“—”的無線電報信號發射出。此系統所發射信號的範圍爲2哩，比人叫喊的聲音傳得稍遠些罷了。在1901 年十二月的一天，義大利青年馬可尼(*Marconi*)和他的同事，在紐芬蘭(*Newfoundland*)聖約翰(*St. John*)地方的信號山(*Signal Hill*)頂，將莫司電碼(*Morse code*)三個英文字母成功的送到大西洋的彼岸。在1902 年更進一步的希望建立一個商業越洋無線電話服務站，結果失敗了，但是這失敗由於季節變化而影響信號的強度所致，可是當時並沒有人考慮到此因素。

在以後的數年，無線電報及電話繼續進展的速度非常的慢，但至 1907 年晶體檢波器及佛瑞斯特（*Lee De Forest*）的三極管出現了。1909 年佛瑞斯特利用無線電話播出了一個歌劇，這也就是今日商用無線電廣播的先聲。

現在的無線電通信及廣播系統，依照無線電報的電碼，發射出週期性的斷續無線電波（等幅波），此種系統稱爲無線電報。發出經語言或音樂的調變後的無線電波，這種系統稱爲無線電話。無線電系統所必須之最基本元件（如圖12—151）有：

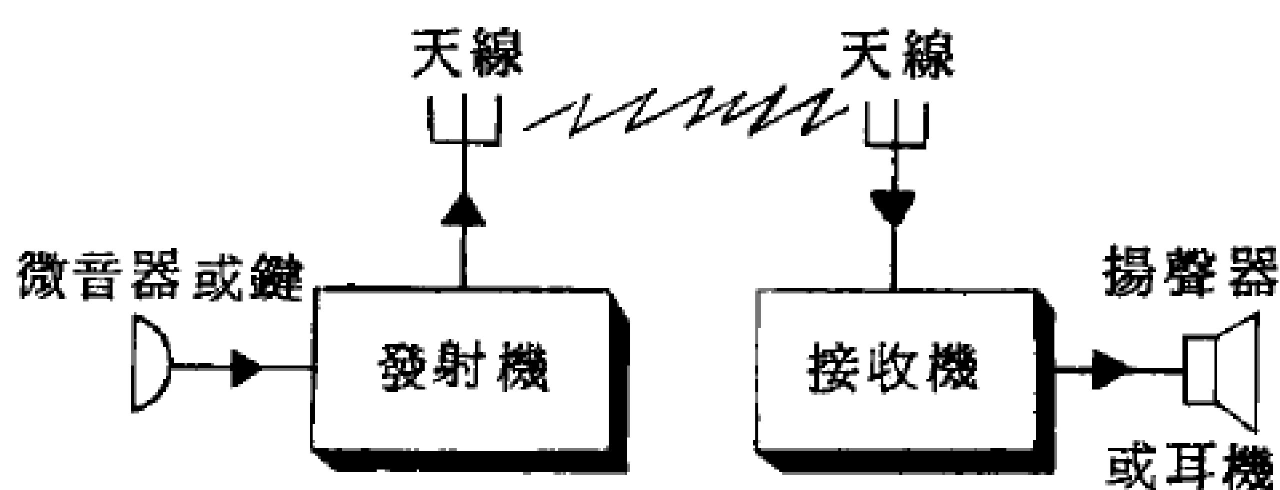


圖 12 — 151　無線電通信系統

1. 產生無線電頻率電波（即射頻電波）的發射機。

2. 控制射頻電波的電鍵或微音器（*microphone*）使所發射出的電波隨所需傳遞的信息變化。

3. 發射天線將電波送至天空。

4. 接收天線接收電波。

5. 無線電接收機，用來選擇及放大發射機所發出的信號，並將射頻信號予以檢波。

6. 揚聲器或耳機將已經檢波的電波變爲聲波，如此可得到所需的信息。

【無線電探測】（Radio direction finder）

屬於無線電探測手段的有專門的跟蹤電臺和探向電臺。跟蹤電臺對戰線前沿某一地區進行晝夜不停的觀察，在這個基礎上提出關於敵人工作電臺數量的材料，揭露敵人無線電通信的制式，從而可以判斷敵人前線部隊數量的變化及其司令部的工作強度。探向電臺可以測出敵軍部隊與兵團的無線電臺的位置，從而便可確定敵人司令部的位置，還可以監

視敵軍司令部的轉移。

【無線電探礦】(Radio prospecting)

使用無線電儀器探測礦苗或石油。

【無線電望遠鏡】(Radio telescope)

即將來自地球大氣層外的無線電波接收，放大並量測的設備。一個實用無線電望遠鏡的典型例子是接近曼徹斯特的喬巨（ *Jodrell Bank* ）地方由勞威爾（ *A.C.B.Lowell* ）於1957 年所建立完成的一具。它是一網狀的拋物線形無線電反射鏡，直徑250呎，設計上的工作範圍短到波長1米，也許可以更短一些。它能將一天體無線電波源，定向到半度之內，精確度當然是隨波長而改變。一個點的“無線電影像”（一點像）是一顆星在光學望遠鏡中所表現出的一點，在無線電望遠鏡中約如肉眼所見的太陽那般大小，就是說如有一個精確度和此相當的光學望遠鏡，一顆星的像將有如不用望遠鏡時所見的太陽盤大小的光圈。這完全是由於口徑和波長之間的關係所產生的。另外一種無線電望遠鏡很像邁克生的星球干涉儀，它包括兩根接收天線，它們相互間的距離有數百呎。兩個接收臺所收到的信號加以重疊而產生一干涉圖形，和光的干涉情況相似。利用這種設備我們發現很強的無線電波束來自外太空的某些特定方向，這些波源叫做無線電星（ *radio star* ）。但是在這些強大的無線電波源的附近除了太陽外，並沒有明顯可見的星球，太陽是一巨大的無線電波發射體，沒有任何可見的星球曾被偵察到是在放射無線電波，我們所遇到的都是黑暗的星球。

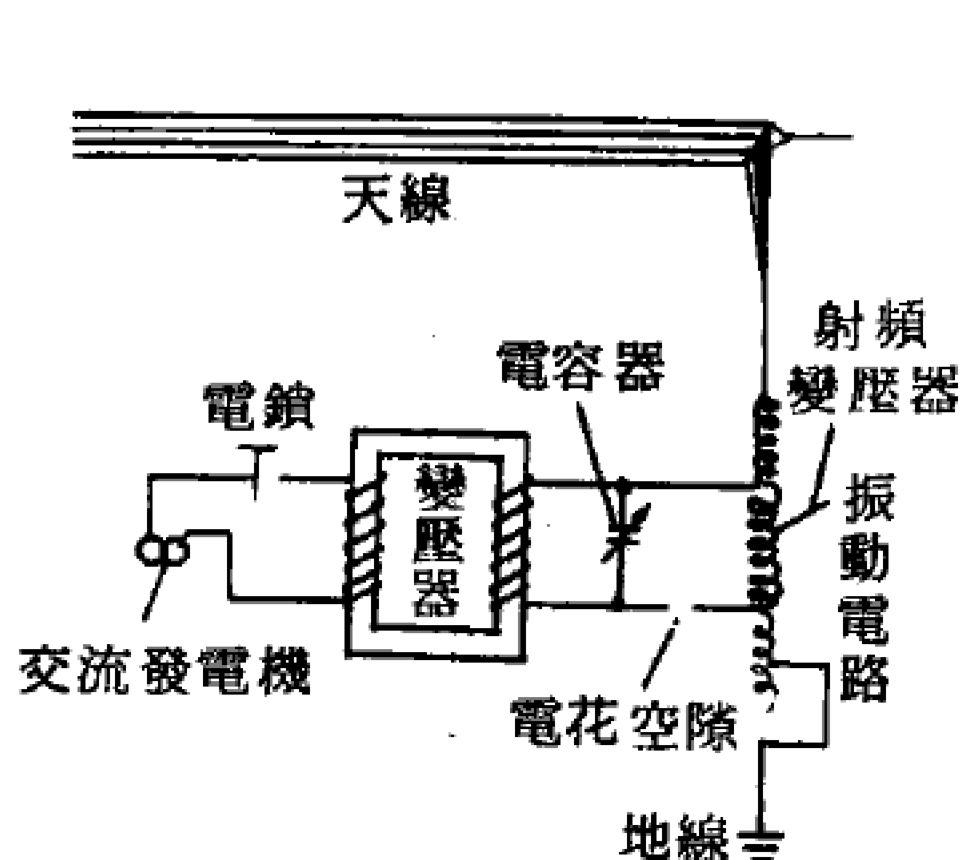
大多數無線電星似乎都在銀河系之中，但也有在它之外的。特別是仙女座大星雲（ *Andromeda nebula* ）已證實是一個無線電波的波源。在英國的曼徹斯特、劍橋和澳洲的雪梨正在進行積極的研究工作，希望將來能夠說明我們銀河系之外，產生這些長波輻射的宇宙事端的本質。

【無線電視】(Radio television)

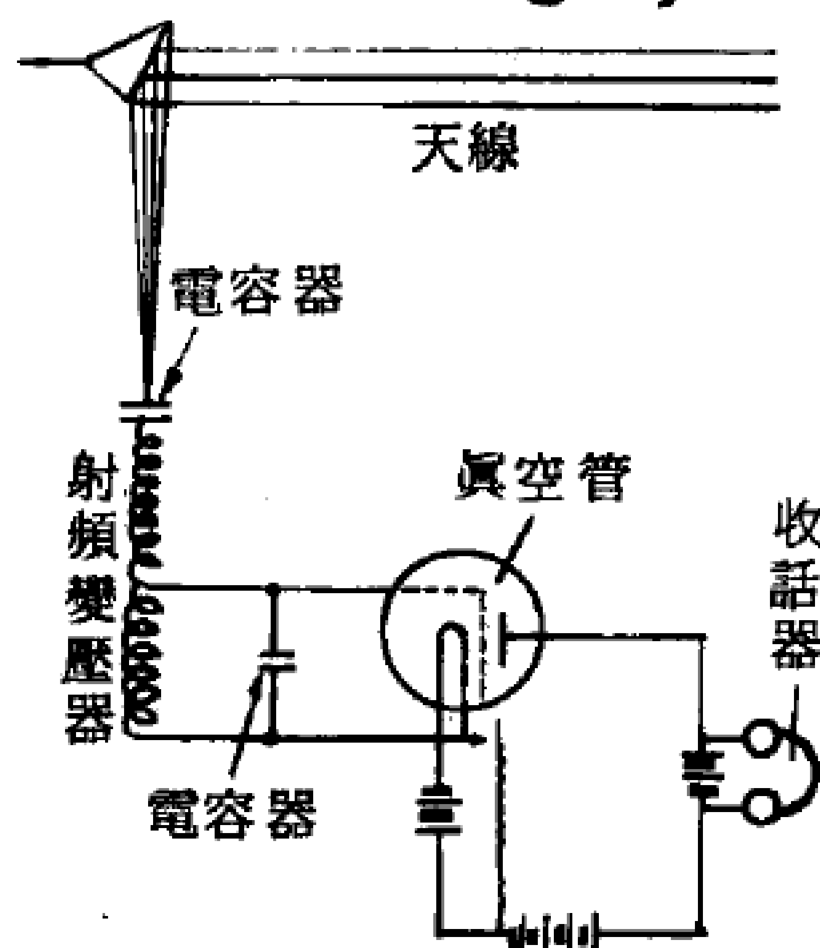
通過無線電波傳播物像。

【無線電報】(Radio telegraph ; Wireless message)

無線電報是利用無線電來發送對應於一定字母的信號(如電碼)。無線電報之收發包括兩個系統，即發報和收報。



(a)無線電報發報之原理



(b)無線電報收報之原理

圖 12 — 152

【 I 】發報機

1. 火花式——如圖 12 — 152 (a)，按電鍵可經變壓器輸出高電壓，使電容器充電。因而在振動電路中產生一阻滯振動，傳於其諧振之天線，而發生電磁波。

2. 眞空管式——現代無線電報發報機改用眞空管振動器，可增效率並使接收機易於銳調。

【 II 】收報機

1. 舊式接收機——如圖 12 — 152 (b)所示，天線接收電磁波後，經射頻變壓器調諧，後經眞空管轉於收話器。

2. 外差接收法 (*heterodyne reception*) —— 依聲學中拍之原理，使接收機眞空管電路中自生一與傳來電波頻率稍有差別的振動電流，藉二頻率之差或拍之頻率，形成收話器之音頻。

【無線電報員】(Radio operator)

專司接收或發送電報的工作者。

【無線電發射】(Radio transmission)

由發射機產生之射頻電力，將它供給天線，發射天線便可變爲電磁波，向四面八方輻射。

【無線電發射機】(Radio transmitter)

無線電發射機可產生一定頻率的射頻能量，然後將此種能量經天線送出。如使發射機所放射出的電波能爲人所用的話，需將信息附於此發射電波上。在無線電報方面，發射機送出等幅波 (即 *C.W.*)，同時依照無線電碼使等幅電波時斷時續，如此即可將所欲傳出的信息加在所發射出的射頻電波上。無線電話發射機是藉調頻或調幅方式，將所欲送出的語言或音樂信號，加在發射機所發出的載波上。

無線電發射機的種類很多，按信號特性的不同，可分爲無線電報發射機、無線電話發射機、無線電廣播發射機、電視廣播發射機等。

【無線電測高計】(Radio altimeter)

利用電磁波以測定飛艇飛行高度的儀器。有一類無線電測高計的作用原理是這樣的：由測高計的發射機所發出的短脈衝從地面反射回來又被測高計的接收機所接收。根據信號發送與返回相隔的時間，就可以確定與地面的距離。

另一類無線電測高計是利用調頻 (*frequency modulation*) 而工作的。發射機的頻率按 “ 鋸齒規律 ” 而變化。由於這樣，從地面反射回來的振盪頻率就與發射機發出的振盪頻率有所不同。根據由發射機發出的及由地面返回的兩個振盪頻率的差值，就可以確定到地面的距離。

【無線電測微計】(Radio micrometer)

利用無線電技術方法以準確測量十分微小的長度變化的儀器。其工作的基礎是：在電子管振盪器的振盪迴路中，當電容器極片間的距離發生變化時，該振盪器的頻率便發生變化。無線電測微計所能測量的距離變化約爲 10^{-6} 厘米。

【無線電路】(Radio circuit)

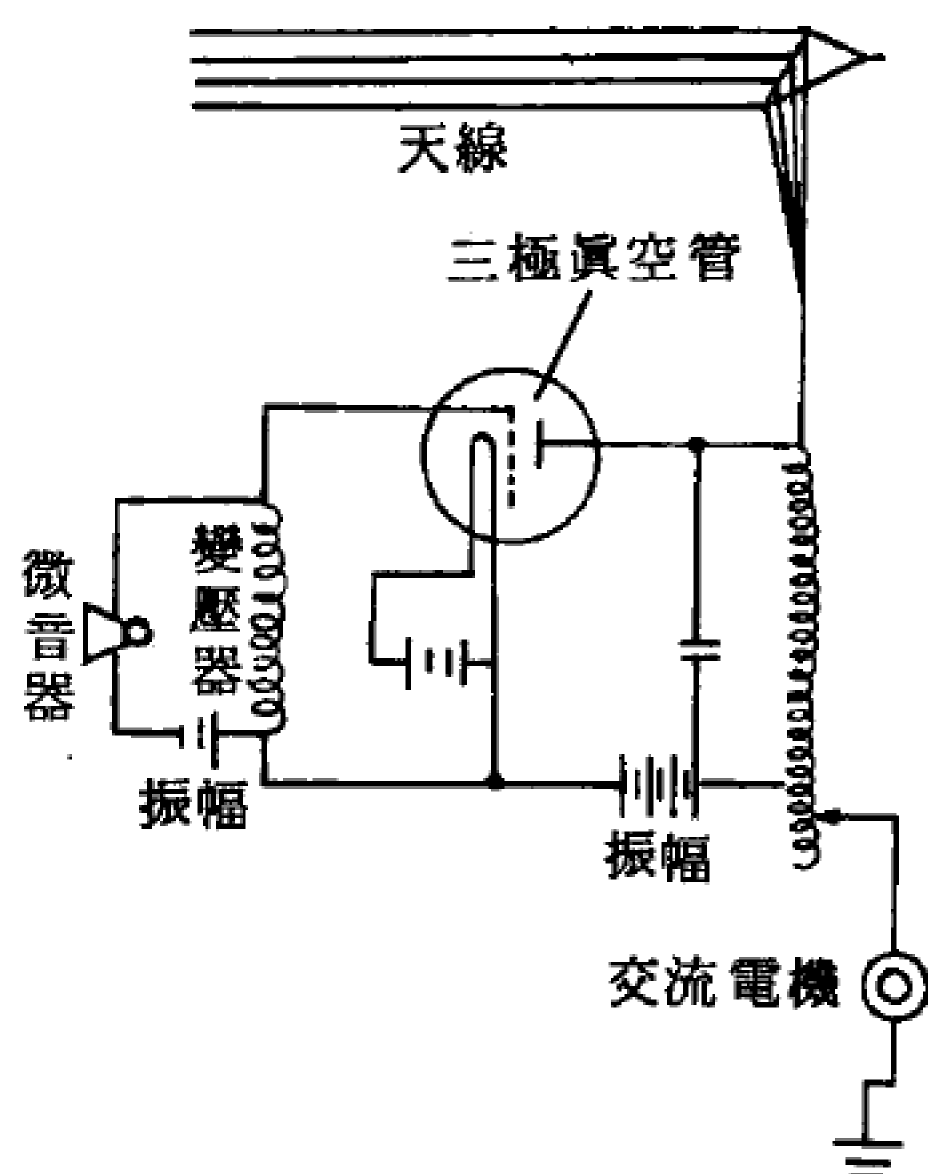
射頻電流經過的道路。

【無線電話】(Radio telephone)

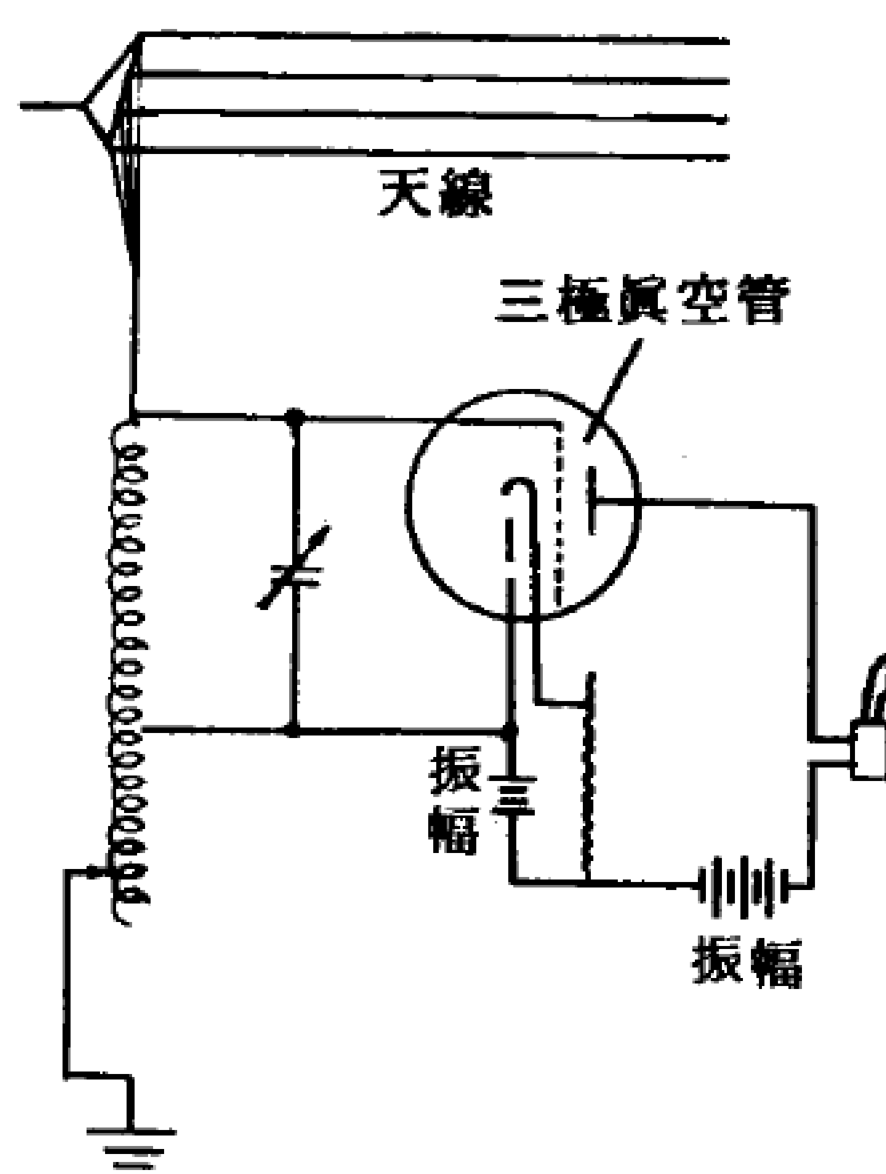
無線電話是無線電通信的一種方式，包括兩個裝置：

【 I 】發射裝置

人先對微音器（與電話之發話器相似）講話，變聲波為發音電流，經眞空管放大器使之放大，然後再送至



(a)無線電話發話原理



(b)無線電話收話原理

圖 12—153

眞空管調幅器，使音響由眞空管高頻率振動器產生的無阻滯高頻等幅電磁波，而成調幅波，再藉眞空管放大器予以放大送由天線發射於空間，如圖 12—153(*a*)。

【 II 】接收裝置

與無線電報舊式接收機之構造相同。爲吸收來自無線電發射器之電磁波能量，使之發展爲聲音的裝置。在廣播方面俗稱爲收音機，如圖12—153(*b*)。

【無線電話字母讀法】(Radio telephone phonetic alphabet)

如*A*讀*Able*，*O*讀*Otto*等。

【無線電話發射機】(Radio telephone transmitter)

將聲波振動變成電磁振動，加入發射機的射頻載波中，進行調制，最後以電磁波的形式向太空輻射的發射機。包括調幅式或調頻式的無線電話發送機。

【無線電傳眞】(Radio facsimile)

無線電傳眞裝置的主要儀器是光電管(*photoelectric tube*)，利用它可使高頻率的振盪電流強弱隨著光的明暗而改變。

把明暗不同的圖或照片貼在圓筒上，使圓筒在光電管的近旁轉動，這樣就會使強弱不同的光照到光電管上，在光電管電路中就出現了強弱變化的電流。這樣就可以把等幅的振盪調幅成隨光的強弱而變化的振盪，再經過發送機發送出去。到達遠處的接收機後，經過電子管的放大，使接收處的燈光也發生相同的明暗變化。這種強弱變化的光照射在捲在轉動的圓筒上的感光紙上，使感光紙各處發生程度不同的感光變化。經過顯像過程，可以得到和原圖完全一致的照片，但在這個過程中，發送臺和接收臺所用的圓筒應該相同，它們的轉動速度也必須完全一致。

【無線電網】(Radio network)

廣義地說，這是由許多無線電發射臺與接收臺所組成的通信系統，保證著國內及國際無線電通信。

【無線電播音室】(Radio studio)

用來進行無線電發送的房間。這種房間應當用隔音的方法以避免外面噪音的干擾，並特別用吸音材料裝備起來以建立音響的必要條件——交混回響(*reverberation*)的必須水平。

用作吸音材料的有氈毯、帷幛、多孔抹灰、帶孔的金屬或木質壁板和一些專門材料和絕緣膠合板等。

同時還採取一些措施，使一切頻率的振盪都同樣地作用到微音器上。因此應盡力避免在播音室內發生聲駐波(因爲在微音器所在的地方，

對有些波長可能產生波腹，對另一些波長則可能產生波節），這點可以利用播音室牆壁的特殊形狀（不平行牆壁）或在牆壁上裝設各種不同曲率的突形半圓筒表面來達到。由於沒有規則的“鏡面”聲波反射，就不會產生駐波。聲波的能量能夠良好地分配，在整個播音室內建立起均勻的聲場。

無線電播音室分為：

1. 語音播音室——用來播送講座、報告和消息報導。
2. 中型播音室——用來播送小型的聯合演奏。
3. 大型播音室——用來播送交響樂隊、合唱團及歌劇的演唱。

此外還有無線電輔助播音室，用來放唱片、發送配音效果等。

【無線電廣播】(Radio broadcasting)

發出語音或音樂給無線電聽衆者，謂之無線電廣播。在無線電播音時，是利用一種無阻滯的電波作為載波，如圖 12 — 154 (*a*)。播音管柵極電路中的線圈，係與播音電路的線圈耦合。因此，語音（如圖(*b*)）即被攙入於載波上。利用所謂柵極轉調的音波外差法，可將載波變成如圖(*c*)所示的形狀。收音機將此種電波接收並放大後，在將之輸入擴音器（或耳機）以前，須先加以整流（如圖(*d*)）。由於擴音器（或耳機）中薄膜的慣性關係，使該膜無法與這些頻率甚高的全振動相配合，以致由載波而來的迅速無間的脈衝，其作用便會互相抵銷，而使該膜仍保持於其靜止的位置上。但在另一方面，該膜因受各半波的作用，故恆能維持一與各半波的偏轉方向相同的衝擊，並因此而發生與轉調韻律（即音波頻率如圖(*e*)）一致的振動。

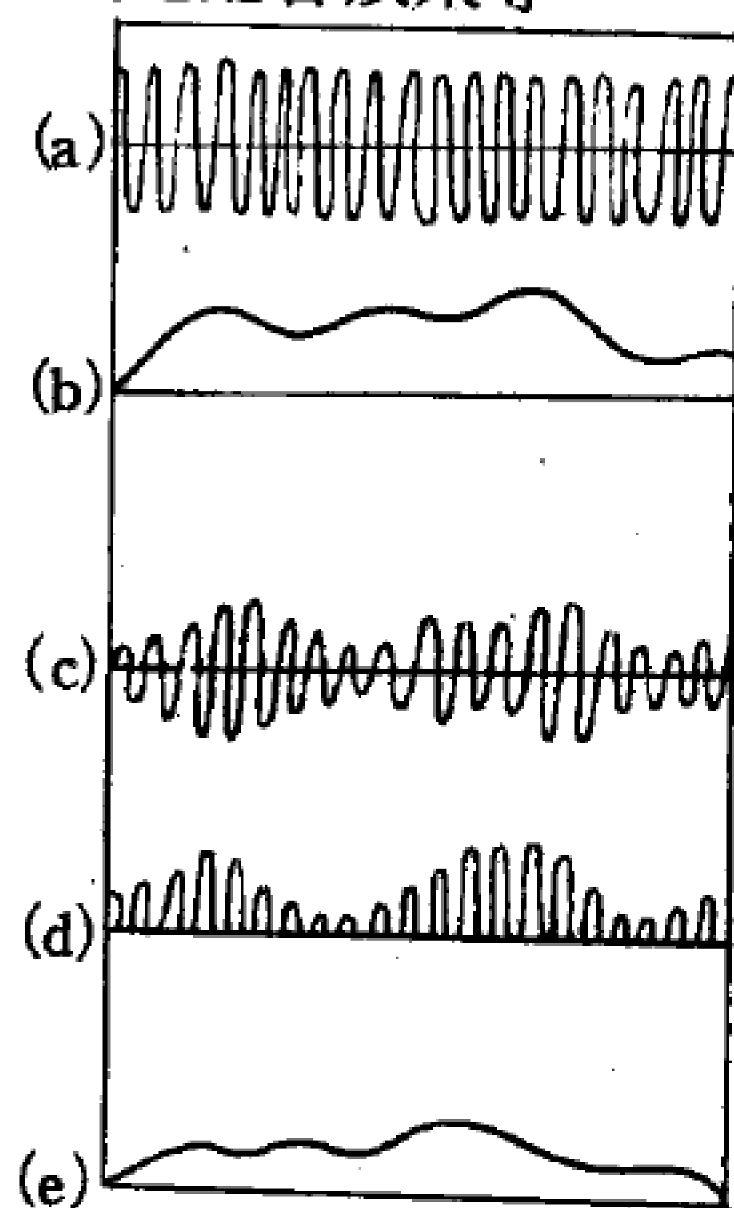


圖 12 — 154
高頻率振動的轉調

【無線電廣播電臺】(Radio broadcasting station)

用來進行無線電廣播的電臺。

【無線電頻段】(Radio spectrum)

低頻段爲 10 KHz ～ 300 KHz ，中頻段爲 300 KHz ～ 3 MHz ，高頻段爲 3 MHz ～ 3,000 MHz。

【無線電噪音】(Radio noise)

太陽、星星及其他天文物體所發的電磁波在 0.1 ～ 10^5 BHz。

【無線電導航臺】(Radio beacon)

利用無線電通訊以指引飛機航行的控制臺。

【無線電導航術】(Radio navigation)

使用無線電之測勘或定位以輔導航行。

【無線電導航儀】(Radionavigation instrument)

利用無線電信號以選擇輪船或飛機的航向或確定其地理坐標的儀器。無線電導航儀的工作在某些情況下是以接收那些發送某種型式信號的陸地電臺信號爲基礎。例如，利用陸地無線電指標就可以確定對指標而言的方向及選擇輪船的航向。在另一些情況下，安裝在飛機上或者輪船上的無線電導航儀根據普通陸地無線電臺的信號就可以確定對這些電臺而言的方向。

【無線電轉播】(Broadcast relay)

許多廣播電臺除播送本臺節目外，經常將別個電臺的節目轉播。

【無線電羅盤】(Radio compass)

無線電定向儀是一種無線電接收的設備，由於定向接收，可以測定電波之方向及發報電臺之方位。普通所採用者，分有下列三種：

1. 倍林尼式 (*Bellini Tosi system*)。
2. 魯賓遜式 (*Robinson system*)。
3. 單座線圈式 (*single coil system*)。

【無機食物】(Inorganic food)

為身體健康所必須的水和礦物質。

【無噪聲調諧】(Noiseless tuning)

收音機中的一種裝置，它能自動將一個或數個電子管封閉起來，直到有足夠大的輸入信號電壓加到這些電子管時為止。這是利用一種專門的封閉電子管來實現的，此管在自已的柵極上或後面幾個放大管的柵極上加以很大的負偏壓。當輸入信號在封閉電子管的柵極加以足夠大的電壓時，封閉管所給出的負電壓就降低，放大管乃開始工作。有了這種裝置後，揚聲器只有在接收機已經調諧到某一電臺時才開始工作。通常在不準確調諧時或調在強力電臺之間時所能聽到的一切雜亂噪音，有了這種裝置便都聽不見了。

【無聲地帶】(Dead spot)

對某一發射臺之信號難收或不能接收之地區。

【無雜音錄音】(Noiseless recording)

有聲電影之錄音制度，其設計在減少當地背景之雜音。

【無儲攝像管】(Non-storage camera tube)

電視攝像管，其瞬時畫像信號是與物像面瞬時亮度成比例者。

【無變壓器的接收機】(Transformerless receiver)

使用倍壓整流器的接收機，常常是個不用變壓器的交流接收機。

【焦比】(Focal ratio)

焦距與透鏡或鏡徑之比。即焦距除以透鏡或鏡之直徑所得之值，亦稱焦距比數。例如焦距8吋，鏡直徑為1/2吋時，則

$$焦距比數 = 8 \div \frac{1}{2} = 16$$

參閱“焦距比數(*F number*)”條。

【焦平面】(Focal plane)

焦平面是過焦點而垂直鏡軸的平面。

【焦石膏】(Plaseter of paris)

將硫酸鈣熱至 100°C 以上，使失其大部分之結晶水而得白色粉末，謂之焦石膏。以水調爲泥狀而放置之，則漸次固結而容積膨大，變成堅硬質。蓋因無水硫酸鈣再與水化合，則生結晶性石膏，可用以製造石膏像及各種模型。

【焦耳】(James Prescott Joule 1818—1889)

英國物理學家，研究電與熱。1840 年由實驗的結果發現了焦耳定律。接著以實驗證明，熱與功在本質上是相同的，而確立了能量不滅之定律。爲了紀念偉大的科學家焦耳，以焦耳爲能量或功之單位，記號爲 J，其量等於 1牛頓的定力沿其方向生成 1 米位移時所作的功。

$$1\ 焦耳 = 10^7\ 爾格 = 0.2390\ 卡$$

【焦耳、湯木生效應】(Joule-Thomson effect)

如欲將東西冷卻至很低的溫度，必須經過如圖12—155所示一連串的步驟。雖然在低溫的冷凍器中用氣體來做冷卻劑，這些氣體必須是在常溫下加壓後不會液化的永久氣體 (*permanent gas*)。第一步驟外加一拘束，使氣體溫度上升，再將氣體加壓至 150大氣壓力 (每平方吋約受壓力 2,000磅)。第二步驟用水來降低其溫度，使其與四周圍的溫度相同，或用一分開的二氯二氟代甲烷冷凍機 (*freon refrigerator*) 使溫度降得更低。第三步驟移去外加的拘束，使以推動活塞，及克服分子和分子間或原子和原子間的內力，使氣體作功擴散，然後可導致溫度降低。

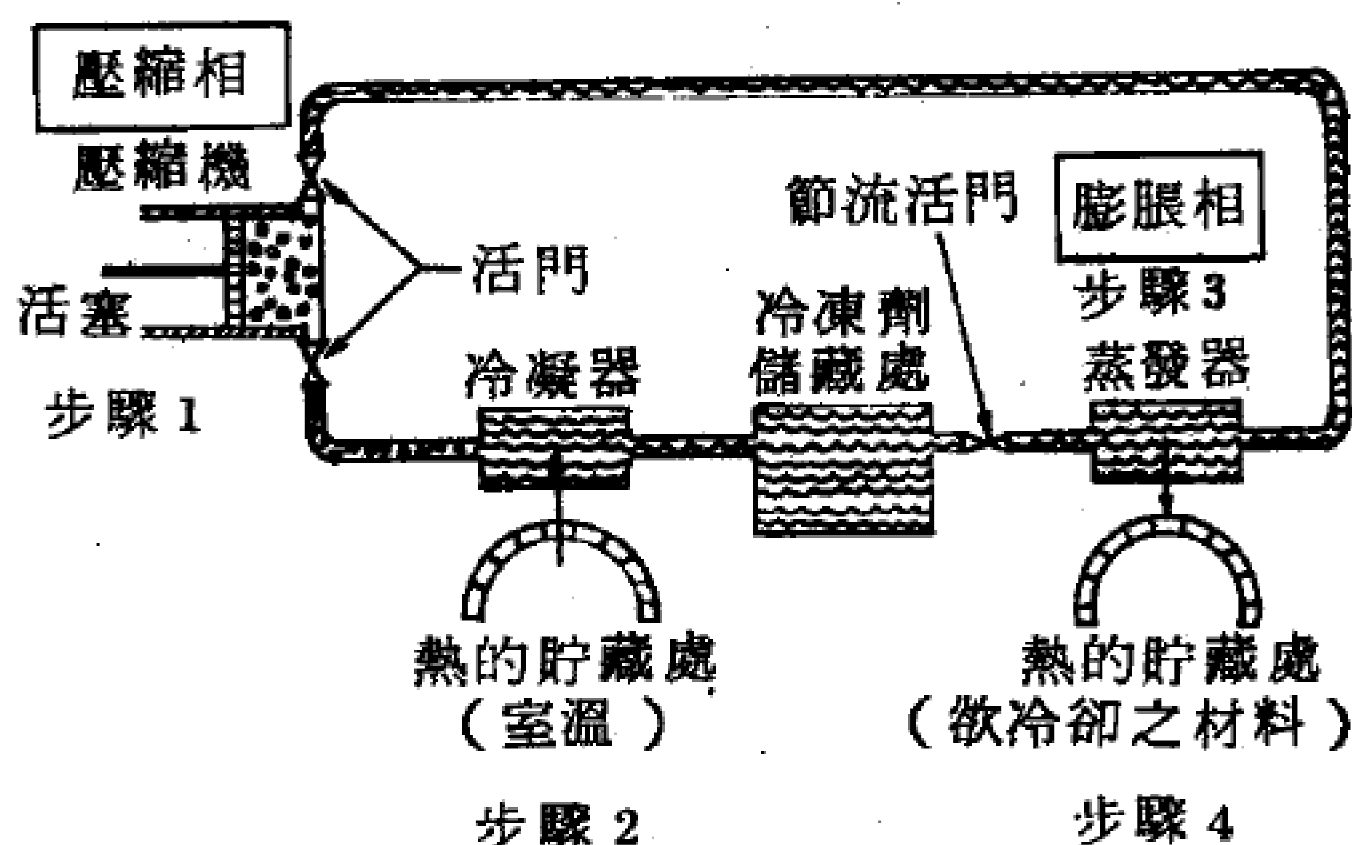


圖 12 — 155
普通家用電冰箱的操作程序

這種因氣體內部作功所引起的溫度升降，稱爲焦耳、湯木生效應。這是由於鄰近的氣體，特別是當加壓力後，不似檯球的碰撞而僅是在空間裏的某一處互相拒斥。相反地，它們之間也可能有微弱的引力，也有導致彈性分離的排斥力。引力是同於在足夠低溫下使所有氣體全部凝成液體的那種力，當氣體膨脹時，必須外加能量克服此引力；如果這種膨脹是絕熱的，氣體即會冷卻。在另一方面，彈性斥力即表當氣體受壓時，外加的能量在氣體作絕熱膨脹時，能量會轉變成熱。這兩種相反的效應會導致和理想氣體的狀況有所偏差，可能引起溫度上升或下降。幸而就在低於某一逆轉的溫度（這是每種氣體都有的特性），焦耳、湯木生膨脹效應通常僅引起溫度下降。因爲它大大地簡化了第三步驟中所需的機械裝置，因此可應用到很多低溫冷凍機上。然而，工業上大規模的冷凍機是讓氣體在一個高速度的渦輪中擴散，此種設計通常較焦耳、湯木生效應冷卻有效率，同時也較往復式活塞機更簡單、更實用。

在低溫冷凍機中的第四步驟，是需要一種能用氣體來冷卻較高溫之物質或物體的方法，這需要一個熱交換器，通常是用一束管子，有時候有附加的延伸面式散熱片，使氣體能確實和欲冷卻的物質有良好的接觸。事實上，爲了使得更有效率些，爲了使最初的冷卻成爲可能，和爲了當操作在不太高也不太低的溫度時，避免使用很多裝置的步驟，因此所有的低溫冷凍機都使用逆流熱交換器（*counter current heat*

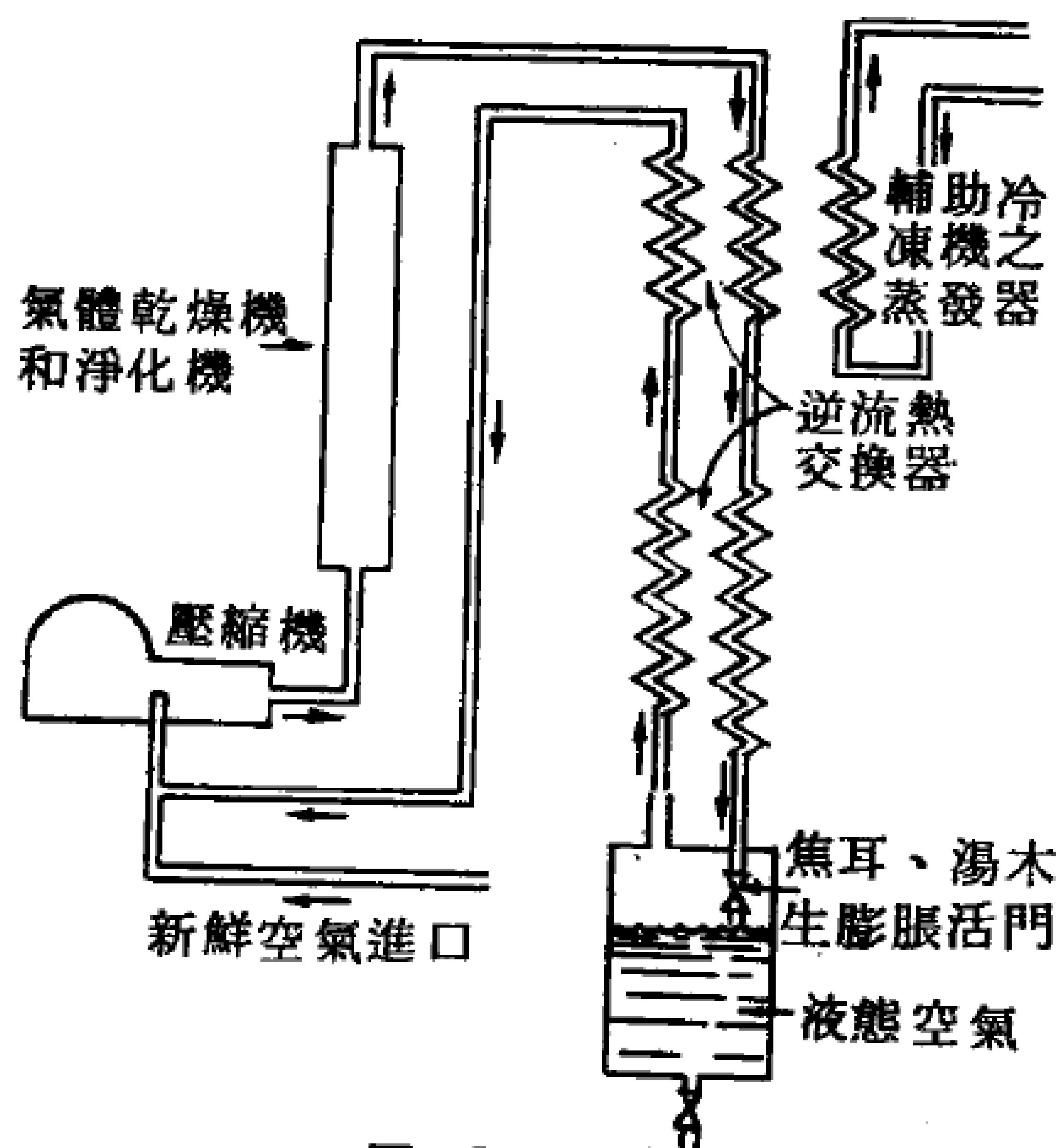


圖 12—156.
液化器中的氣體流動情形，利用焦耳、湯木生膨脹效應在焦耳、湯木生活門將空氣冷卻。

exchanger），如圖 12－156，它有兩導管，這兩通道整個長度都有良好的熱接觸，在這兩導管中氣體各朝相反方向流動，以致於兩氣體蒸氣間的溫度總無多大差異。一種氣體冷卻另一種氣體，當前者比後者溫度低時，這是使受壓氣體從第二步驟至第三步驟和使已擴散的氣體從第四步驟升回至第一步驟間之溫度保持相等的最有效方法。在這方法中，我們可將這些熱交換器視爲第二步驟和第四步驟的延伸。

【焦耳定律】（Joule's law）

電流通過導體時，在導體內消耗之電能全部變成熱能。假定通過電阻 R 之導體之電流爲 I，兩端之電壓爲 E，則在 t 秒鐘產生之熱量 H 爲

$$H = 0.24\ EIt$$

因 $E = IR$，故亦可以

$$H = 0.24\ I^2Rt$$

表示之。這種關係叫做焦耳定律，即電流所生熱量與電壓及其電流強度的大小、作用的時間成正比。

【焦耳效應】（Joule effect）

想在導體中維持電流必須消耗能量，在加速器或電子管中使離子加速也必須消耗能量，可是這兩種情形卻有區別；在加速器中所有之能量消耗都是用以加速離子；在導體中因爲有電子與晶體格子中之正離子的交互作用，電子之能量部分轉移到格子之中而增大其振動之能量，其結果導使物質溫度之升高，這是電流的加熱效應，稱之爲焦耳效應。

能量轉移於晶體格子之速率，每單位時間內作用於一電子之功爲

$$F \cdot v = -eE \cdot v$$

e 爲電荷數，$\vec{E}$ 爲電場強度。而單位時間內作用於單位體積之功（即單位體積之功率）爲

$$p = n(-eE \cdot v) = -env \cdot E$$

式中 n 爲單位體積內之電子數。消去 $\vec{v}$，求得作用於單位體積之功爲

$$p = jE \text{（每單位體積之功）}$$

j 爲電流密度。圓柱形導體若其體積爲 Sl，則在其中維持電流所需之功率爲

$$P=(Sl)p=(Sl)(jE)=(jS)(El)$$

可是 $jS=I$ 而 $El=V$，故在此導體中維持電流所需之功率爲

$$P=VI \text{（導體中之功率）} \qquad (1)$$

對於適用歐姆定律 $V=RI$ 之導體，（1）式可以寫成不同之形式

$$P=RI^2 \text{（歐姆電阻中之功率）} \qquad (2)$$

然而有很多導體不適用於歐姆定律，對那些導體而言，雖然（1）式仍然成立，但（2）式卻不再合用。

【焦耳循環】（Joule cycle）

氣體（特別就熱空氣引擎而言爲空氣）膨脹時所放出的功比它被壓縮時所消耗的功爲多，這項變更是將被壓縮後的氣體加熱。因爲所作的功是和氣體的壓力和體積相乘之積成正比，我們可對氣體加熱使其膨脹時體積增大而增加作功。在內燃機中，可在氣缸內燃燒空氣和氣化燃料的混合體以達到這一目的。但在熱空氣引擎中，壓縮後的空氣經過許多經爐焰加熱的管子，再進入氣缸或渦輪機中膨脹作功。爲了完成這種循環（即恢復初態），空氣須在預冷器中冷卻到它的初溫後，再進入壓縮機。這種循環方法叫做焦耳循環。

在熱空氣引擎中，壓縮和膨脹進行於相同壓力限度之間，膨脹時之所以能作超額的功是由於加熱後的空氣體積較大之故。在所有熱機中，動力淨輸出爲介質膨脹所作的總功與壓縮這項介質所消耗的功之差。在蒸汽機中，給水從冷凝器較低壓力打入高壓鍋爐時，也須對它作一些功。然而這項功比較起來非常小，因爲水的比容比蒸氣的比容小得太多了。

【焦耳實驗】（Joule's experiment）

1. 焦耳於 1845 年爲研究氣體內能對體積變化的關係而作的實驗

。

可視作焦耳、湯木生實驗的初步實驗。開始時將氣體放入 A 部分，B 部分爲眞空，並將 A、B 分別放入不同的熱量計中。其次將 A、B 間的開閉啓開，使氣體向 B 自由擴散，並測出氣體有無溫度變化。焦耳確認無溫度變化後，作成結論：氣體內能與體積無關。但是在這種裝置中，氣體的熱容量遠比容器的熱容量爲小。爲獲得更精密的結果，再進行的就是焦耳、湯木生實驗。

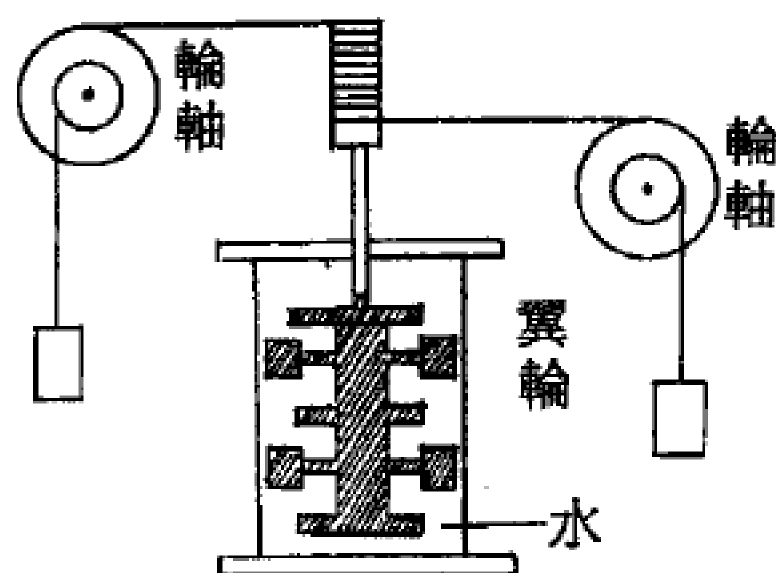


圖 12 — 157

2. 1847 年爲精密地決定熱功當量而作的實驗。如圖 12 — 157 所示在銅器中裝置翼輪，並利用重砝碼的均速緩慢下降，使翼輪攪拌水，轉變爲熱的機械能，可由砝碼的下降距離算出，而水所接受的熱量可用溫度計測出。由於此實驗才確定了熱功當量爲

$$1\text{ 卡} = 4.19\text{ 焦耳} = 4.19 \times 10^7\text{ 爾格}$$

【焦耳熱】(Joule's heat)

當電流流經導線時會產生相當的熱量，叫做焦耳熱。若電流爲 I 安培，導體的電阻爲 R 歐姆，則每秒產生的熱量爲

$$H = I^2 R \qquad (1)$$

H 以每秒焦耳表示卽爲瓦特。若 H 以每秒克卡表示，則它們的關係爲

$$H = 0.239\ I^2 R \qquad (2)$$

在很多情形中，熱的產生爲用電的特殊目的，例如電暖爐、電竈、電熨斗、電焊機等等。在另外一些情形中，熱本身不是終極目的而是中間手段，例如白熱燈，其中的焦耳熱則爲達到白熱溫度的方法。

然而，當電流流經導體時，除非用純金屬冷到接近絕對零度（ $-273°C$ ）達到了超導電性，則常依（ 1 ）式和（ 2 ）式產生熱量。超導體的電阻非常小，因此絕無可能測量到或觀察到焦耳熱的產生。

但在所有其他情形中，焦耳熱不管需要與否總會產生，且往往是正當過程中一種非常不合宜的副產物。(1)它是一種損失卽一些能量變成了熱，而不會變成機械動力、化學能和其他類似的能量。這樣的關係，我們說能量消散（ *dissipation of energy* ）成熱。(2)太多的熱對電動機、變壓器或任何其他電器會造成損害。很多情形下焦耳熱對電動機的損耗比機械應力還厲害。

【焦度】（ Power of a lens ）

當焦距以米計時，焦距的倒數叫做透鏡的焦度。例如焦距 20 *cm*($\frac{1}{5}m$ ）的透鏡，焦度是 5 度（ 5 *D* ）。1 *D* 的透鏡，焦距大約是 6 *cm*。

【焦散】（ Caustic ）

球面鏡公式 $\frac{1}{D_o}+\frac{1}{D_i}=\frac{1}{f}$ 之求得，以孔徑：曲率半徑或孔徑角甚小者爲條件，否則所成之像卽模糊。因主軸附近之平行入射線，反射後可通過焦點；其較遠處之入射線的反射線卽散佈於焦點以內，而形成球面像差（ *spherical aberration* ），卽焦散。

【焦散曲線】（ Caustic curve ）

詳閱“焦散面（ *Caustic surface* ）”條。

【焦散面】（ Caustic surface ）

如選用孔徑較大之凹面鏡爲反射面，則不再發生平行於軸之光線經反射後明顯集中於一點或集中於焦點之現象。此際代替焦點 *F* 者，遂爲面的形成，卽所謂焦散面，由於它那終於一個尖端的造型，令人想到歐洲 16 ～ 18 世紀的一種塔之建築風格。焦散面再與通過光軸的平面相交成之曲線，卽所謂焦散曲線（ *caustic curve* ）。將一個戒指或餐巾環放在一張白紙上，如自側面照明，就現出此種非常美觀的焦散曲線（如圖 12 — 158 ）。同樣可從一個自側面照明的茶杯或水桶底觀察這種焦散曲線，焦散曲線

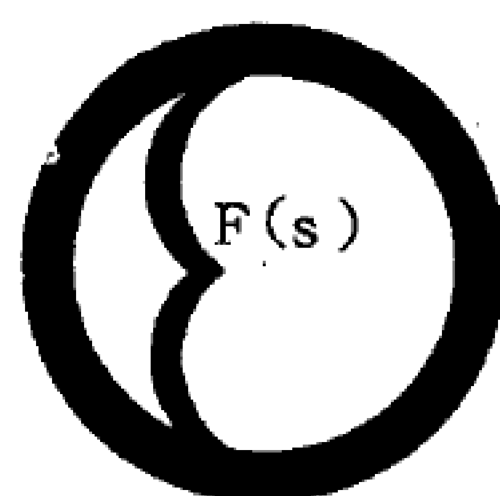


圖 12 — 158
較大口徑球面凹鏡之焦面。

的尖端S，與接近主軸的平行光線之焦點F相重合。

【焦距】(Focal length)

在球面鏡時是指自焦點至中心(鏡心)的距離，透鏡時則指自焦點至透鏡中心的距離。球面鏡的焦距是等於球心至鏡心距離的一半。因此球面半徑越小焦距越短。

通常焦距有兩種：前焦距f和後焦距f'，兩者之間關係為$-\frac{n}{f}=\frac{n'}{f'}$，$n$、$n'$分別為前後兩面介質的折射率。

【焦距之測定】(Determination of focal length)

牛頓提出一種透鏡公式，可說明由一物標至一透鏡或透鏡系統之第一焦點之距與由物像至第二焦點之距離的乘積應等於透鏡焦距之平方。故對於圖 12 — 159 有$x \cdot x'=f^2$之關係，用此方程式適於求得一透鏡系統L(由兩個度數同為$+4D$之透鏡相隔 10 cm所組成)之焦距。

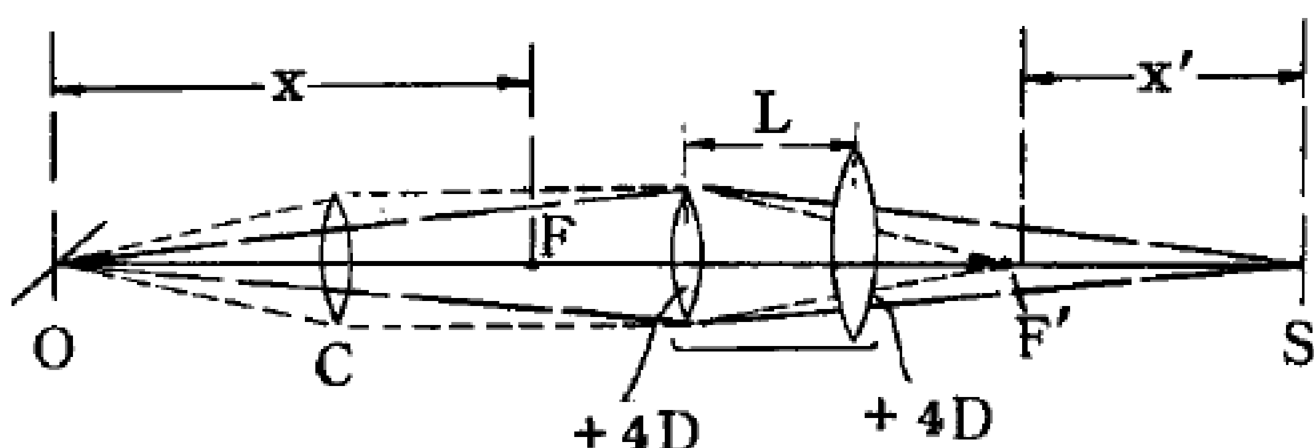


圖 12 — 159

如圖 12 — 159，首先須求定兩焦點F及F'之位置，暫時在距O之正確位置處插入一個$+5D$透鏡C俾OC成為一準直器，且可由此射出一平行光柱。將此透鏡系統置平行光柱之通路中，兩焦點中之一個，F'可由玻璃座屏定其位置，再記錄之；就此位置可將十字線之像聚焦。因該系統之透鏡相同，每個透鏡之F及F'的位置，前者F距第一透鏡與後者F'距第二透鏡之距離相同；若欲使用不同透鏡，則在此場合F及F'必須將此組合之每個末端輪流朝向準直器分別求定之。

故求得F及F'之兩個固定點後，再移動準直用的透鏡C，且十字線O亦移動，例如使距離OF為 15 cm，於是座屏S亦移動直至十字線之像在屏上又清晰現出焦聚，且測得$F'S$之距離。此二距離乘積之平方

根即此透鏡系統之焦距。

另有一法特別對於各種組合透鏡系統之測定適用。其理論由圖12—160之高斯（*Gauss*）圖解可瞭解，圖中一物標置 h_1 上，可得該物像於 h'_1，其放大率爲

$$m_1 = h'_1 / h_1 = (v_1 - f)/f \qquad (1)$$

同理，若物標移近透鏡，則物標之新距離爲 v_2，其物像將在距離 v_2 處形成，且其放大率爲

$$m_2 = h'_2/h_1 = (v_2 - f)/f \qquad (2)$$

將（1）式、（2）式合併，則得

$$f = \frac{v_2 - v_1}{m_2 - m_1}$$

可實際使用此公式，一塊在玻璃上之毫米尺置在透鏡之一側 h_1 處，且其物像用一置在 h' 處之測微尺目鏡（*micrometer eyepiece*）測定之。再對物標及物像第二位置重複試驗，故其放大率可以求得。但需先測定（$v_2 - v_1$），乃沿光學試驗臺移動測微尺目鏡之距離。由物標距離 v_1 及 v_2 亦可導出一式：

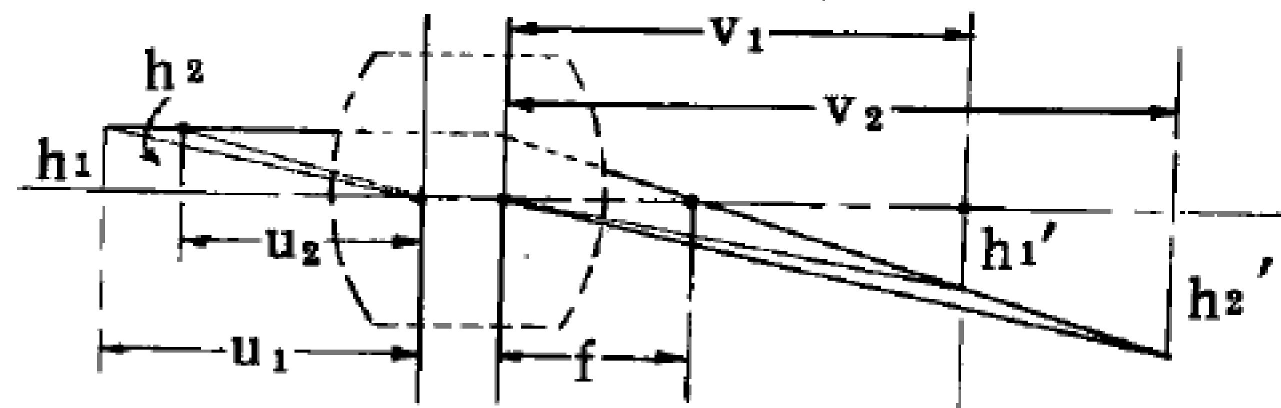


圖 12 — 160

$$f = \frac{v_2 - v_1}{1/m_2 - 1/m_1}$$

【焦距比數】（F number）

照相機透鏡之有效直徑與焦距之比，表示影像之明顯度，其值爲

$$焦距比數 = \frac{焦距}{物鏡有效直徑}$$

例如 $f/16$ 照相機，其意義爲照相機之焦距（由透鏡至底片距離）

等於透鏡之 16 倍。要獲得較亮之光時可使用較長之露光時間，即可獲較佳照片。

美國威爾遜山天文臺100吋反光遠鏡，其焦距比數爲 $f/5$，帕羅馬山100吋反光遠鏡爲 $f/3.3$，該臺之48吋史密特遠鏡之物鏡直徑爲72吋，修正板 48 吋，焦距比數爲 $f/2$；小史密特遠鏡可以達到 $f/1$。

【焦熱電】(Pyroelectricity)

有些晶體的自發極化(*spontaneous polarization*)的方向，在不使晶體產生電崩潰的範圍內，不因外加電場而改變。然而我們常發現這些晶體的自發極矩，會因加熱而改變，即當溫度改變時，雙極矩(*dipole moment*)的值也隨之改變，具有這種現象的晶體稱爲焦熱電晶體，這種現象稱爲焦電現象。

【焦點】(Focus)

如太陽光線等平行光線平行於軸照射於凹面鏡或凸透鏡時，反射或通過透鏡的光線大致會集中於一點，此點叫焦點。如爲透鏡時，在鏡的兩側各有一個。

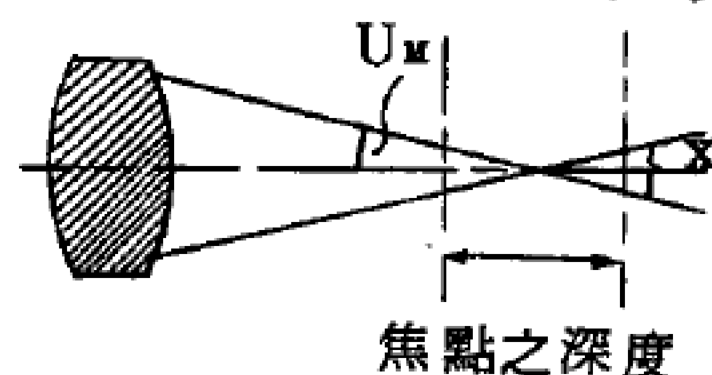


圖 12 — 161

【焦點之深度】(Focal depth)

【 I 】物像空間焦點之深度

照相透鏡造成在物像空間焦點之深度爲一距離，經此距離感光片能移動而物像不因之而呈像扭(畸變)(如圖 12 — 161)。在照相工作中清晰度之優與劣的標準乃污斑或盤之至少混淆尺寸能用肉眼在正常距離(即 10 吋)中分辨出來。假定眼睛的視覺敏銳度爲弧度之一分，

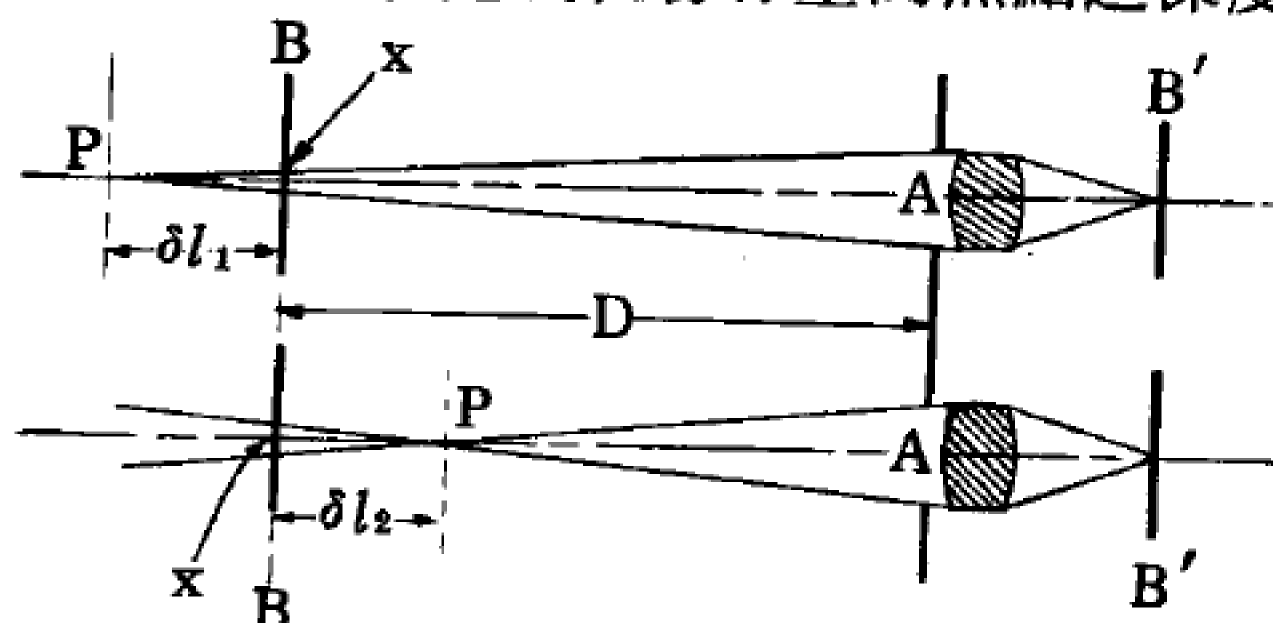


圖 12 — 162

則一物點之恰能辨別之物像斑點之直徑 x 為 $x/10'' = 1' = 0.0003$ 弧度即 $x = 0.003$ 吋。故

$$焦點深度之半 = 0.00015 / \tan U'_M$$

而對一透鏡用在 $F/6$ 時，焦點全深度為 0.036 吋。故照相感光片必須位於此等級的精密度以內。

但若圖片放大，而非用肉眼所觀看的，斑點大小 x 必須為較以前情況 10 倍的小（0.0003 吋），且意謂焦點深度亦減降 10 倍。

【Ⅱ】物標空間焦點之深度

在圖 12—162 中，B 及 B' 均為共軛平面對透鏡 A 分別相當於物標及物像，由平面 B 射出之光線穿過一點 P，再至有效鏡徑 A 之透鏡，因 P 成為物像乃一直徑 x/M 之斑點，此處 M 為放大率。故

$$\partial l_1 / x = (D + \partial l_1)/A \qquad \partial l_1 = x \cdot D/(A + x)$$

同理 $$\partial l_2 / x = (D - \partial l_2)/A \qquad \partial l_2 = x \cdot D/(A - x)$$

因此焦點之深度

$$(\partial l_1 + \partial l_2) = (2x \cdot D \cdot A)/(A^2 - x^2)$$

式中 x 之值應不超過 $M \times 0.003''$。

【焦點準直器】（Foco-collimator）

對於測定焦距此乃一種極適宜之儀器，因操作簡單而迅速，故為理想的工具。此儀器為一準直管，在其一端安裝一具優良的約 10 吋焦點的消色差透鏡（*achromatic lens*），而另一端安裝一玻璃板，板上畫兩條細平行線 A 及 B，相距約 $2mm$（如圖 12—163）置於 C 之焦平面中。此二線在透鏡 C 上成 θ 角，此角可用一經緯儀精確測定之，故兩條平行光柱由準直器

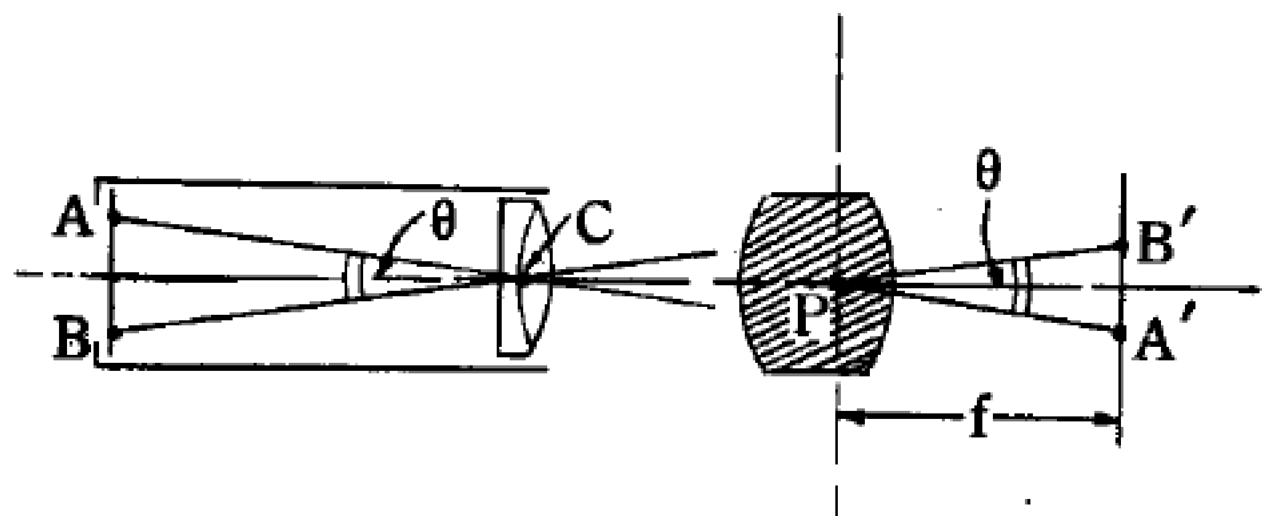


圖 12—163

射出便相互傾斜在此角度上。若欲測之透鏡放在此等光柱之路徑中，則將在焦平面上形成物像 A' 及 B' ，可由一測微尺目鏡測得其相隔程度。由圖中之三角形 ABC 及 $A'B'P$ 相似角 θ 均相同，角 θ 等於在測量圓周中之 $A'B'/f$，若 θ 已決定，則欲測之透鏡的焦距爲 $f = A'B' \times 1/\theta$ 。此後一項稱爲在弧度中角 θ 的倒數，可視爲一簡單的乘因數，且刻在準直器上。

此儀器之附添裝置爲5條各相距1 mm 間隔的刻線，具有最大分離的因數及各線的中間分離程度，因此廣大的不同焦距之透鏡亦能適用。

【琥珀】(Amber)

一種黃澄澄、透明的石頭，裏面可能包著一隻小蟲，或者是裹著完好的草木莖葉、花瓣以及古代的小動物。其中最多的是一些小蟲子、螞蟻、蜘蛛等，看上去還像活的一樣呢！這就是琥珀。

琥珀是樹木的眼淚，它是古代樹木裏分泌出來的樹脂變成的化石。早在四千多萬年前，地球上生長著茂密的森林，那時氣候溫暖，水源充足，幾千種小蟲類在林間生活著、嬉戲著。在炎熱的天氣裏，松柏科的植物常常分泌出膠一樣黏的樹脂。有時，貪食的小蟲猛地撲上去，就被樹脂黏住而掙脫不掉，有時它黏住了被風吹來的花瓣、樹葉。以後不斷流淌下來的樹脂，終於把小蟲、花瓣、樹葉等埋葬在裏面。樹脂本來很稠，凝固得密度更大，空氣攻不進去，被包圍在裏面的東西就不會氧化和腐爛，而被完整地保藏在透明的“棺材”裏了。

在後來悠長的地質年代裏，經過地殼的變動、泥沙的掩蓋和地下水裏的礦物質滲入了樹脂，最後變成石頭一樣堅硬的琥珀。

其實琥珀也是由最普通的元素組成的，據科學家分析，其中含 77 %的碳、10 %的氧和 11 %的氫，還有少量的硫和灰分。它比水稍重一些。當把琥珀加熱到 350° C 以上時，它就會熔化，同時還散發出一種類似松香的氣味。

優質的琥珀可以製成裝飾品。劣質的也可以用於製造琥珀酸和黑色假漆，此外它還是很重要的中藥藥材。

【琴管】(Organ pipe)

管樂器及管狀物體中的空氣，其振動情況與無界限的空氣振動是不相同的，雖然二者振動頻率都可由低音波(*infrasonic wave*，$\nu < 20$ Hz)的頻率延伸至聲波(*sound wave*，ν 約 $20 \sim 20,000\ Hz$)甚至於超音波(*ultrasonic wave*，$\nu > 20,000\ Hz$)的頻率，但是空氣的振動頻率是沒有限制的，而琴管的振動頻率卻受到邊界條件(*boundary condition*)的限制，合乎邊界條件的振動才是被允許的振動，否則將不會發生。以下將依各種情況分別說明。

設有一個兩端開口的均勻管子，其長爲 l，管內外都有空氣，管內的空氣因某種原因而振動。要討論這種振動情形，應當先知道它的波動函數。若以管子延伸的方向爲 x 軸，則由波動方程式

$$\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial t^2}$$

而波動函數 $\Psi(x,t)$ 可以用下式表示：

$$\Psi(x,t) = (C\cos kx + D\sin kx)(E\cos\omega t + F\sin\omega t) \quad (1)$$

其中 C, D, E, F 都是未定常數，k 爲波數($k = \frac{2\pi}{\lambda}$)，ν 爲振動頻率($\nu = kv$)。

(1)式是一般式，必須使它符合邊界條件，才能適用於所討論的情況，但邊界條件是什麽呢？從管子本身來看，管口處的空氣與外界空氣相接，所以那裏的空氣應該與外界空氣同條件。如果外界空氣密度爲 ρ_0，則此處空氣的密度 ρ 應等於 ρ_0。如果管子的二開口分別爲 $x = 0$ 及 $x = l$，則可以得到邊界條件：

$$當\ x = 0\ 及\ x = l\ 時，\frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

於是將（ 1 ）式求$\Psi(x, t)$對x的偏導數

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x}=(-kC\sin kx+kD\cos kx)\cdot(E\cos\omega t+F\sin\omega t)$$

再將（ 2 ）式的邊界條件代入，得

$$x=0\text{時，}kD(E\cos\omega t+F\sin\omega t)=0$$

$$\therefore\quad D=0$$

$$x=l\text{時，}-kC\sin kl\,(E\cos\omega t+F\sin\omega t)=0$$

$$\therefore\quad \sin kl=0$$

或
$$k=\frac{\pi n}{l}\qquad n=1,2,3,\cdots\cdots \tag{3}$$

由此可獲得適合現在所討論的情況的波動函數

$$\Psi(x,t)=C\cos\frac{n\pi}{l}x(E\cos 2\pi\nu_n t+F\sin 2\pi\nu_n t)$$

$$=\cos\frac{n\pi}{l}x(A_n\cos 2\pi\nu_n t+B_n\sin 2\pi\nu_n t) \tag{4}$$

A_n及B_n爲常數，ν_n則爲相當於波數k_n的頻率，即

$$\nu_n=\frac{nv}{2l}$$

從（ 3 ）式很明顯地可以看出，此波動僅當波長

$$\lambda=\frac{2\pi}{k}=\frac{2l}{n}\qquad n=1,2,3,\cdots$$

或
$$\lambda=2l,\ l,\ \frac{2}{3}l,\ \frac{1}{2}l,\cdots$$

時方能產生。再由（ 4 ）式可知，如果

$$\frac{n\pi}{l}x=\left(m+\frac{1}{2}\right)\pi\qquad n>m=1,2,3,\cdots\cdots$$

或
$$x=\frac{m+\frac{1}{2}}{n}\,l\qquad n>m=1,2,3,\cdots\cdots$$

時$\Psi(x,t)=0$，即在這些固定的地方產生波節（*node*），所以這種波動也是駐波，而它是縱波，故又稱縱駐波（*longitudinal standing wave*）。

假如管子一端是開口而另一端是閉合的，則開口端的條件與前面所述的相同，而閉口端因固定不動，故在閉口端的空氣分子也將不運動，即其位移爲０，即$\Psi(x,t)=0$，若開口端爲$x=0$，閉口端爲$x=l$，則其邊界條件爲

$$\text{當}\quad x=0\text{時，}\quad \frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial x}=0 \qquad (5)$$

$$\text{當}\quad x=l\text{時，}\quad \Psi(x,t)=0 \qquad (6)$$

將這些邊界條件代入（１）式，因爲（５）式與（２）式前半部相同，因此$D=0$，另外由（６）式得

$$\Psi(x,t)\big|_{x=l}=C\cos kl\,(E\cos 2\pi\nu t+F\sin 2\pi\nu t)=0$$

$$\therefore\quad \cos kl=0$$

亦即

$$kl=\left(n+\frac{1}{2}\right)\pi \qquad n=0,1,2,3,\cdots$$

$$\therefore\quad k=\frac{\left(n+\frac{1}{2}\right)\pi}{l}$$

因此，這時的波動函數爲

$$\Psi(x,t)=\cos\left[\frac{n+\frac{1}{2}}{l}\right]\pi x\,[A_n\cos 2\pi\nu_n t+B_n\sin 2\pi\nu_n t]$$

此處的 $\nu_n=\dfrac{\left(n+\frac{1}{2}\right)v}{2l}$

此波動僅當波長

$$\lambda=\frac{2\pi}{k}=\frac{2l}{n+\frac{1}{2}}\qquad n=0,1,2,3,\cdots$$

或

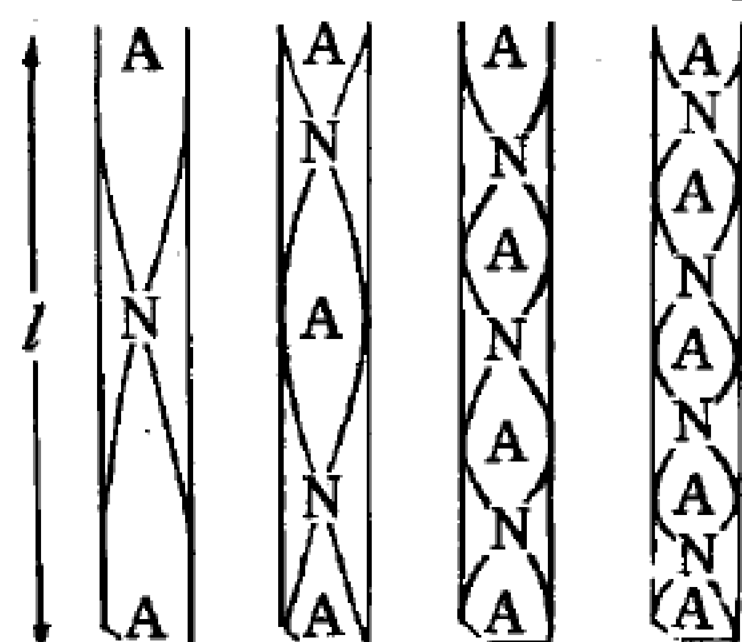
$$\lambda=4l,\frac{4}{3}l,\frac{4}{5}l,\cdots$$

時才產生，同時與前一情況相同，也是縱駐波，其波節在

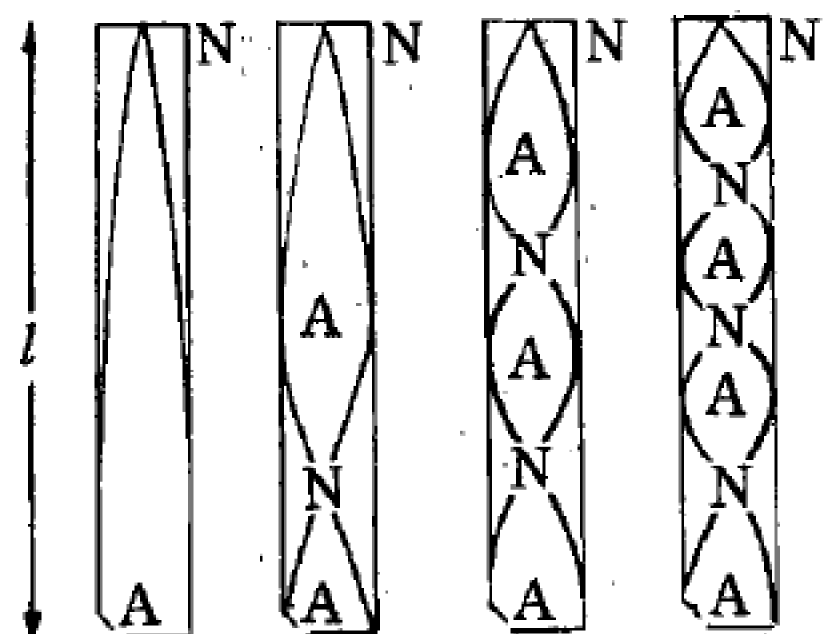
$$\frac{n+\frac{1}{2}}{l}\pi x=(m+\frac{1}{2})\pi\qquad n\geq m=0,1,2,3,\cdots$$

$$x=\frac{m+\frac{1}{2}}{n+\frac{1}{2}}l$$

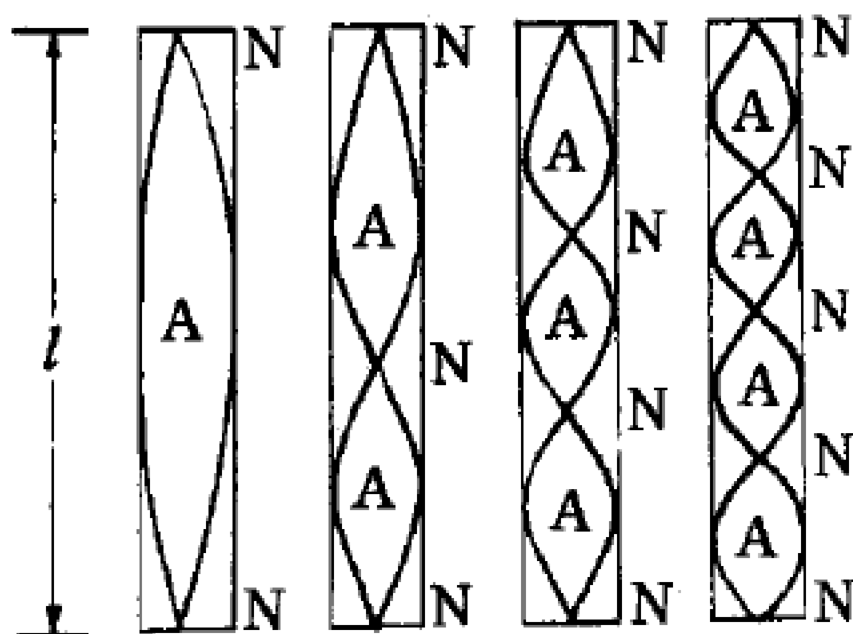
前面所述的二種情況，是在管樂器中常見的情形，另外一種雖不大應用於樂器中，但也是空氣振動的重要情形。設有長度為 l，而兩端封閉的管子，管中空氣振動的波動函數，可用（1）式及其邊界條件決定。由於管子兩端封閉，其邊界條件為當 $x=0$ 及 $x=l$ 時，$\Psi(x,t)=0$（坐標取法同前），將此結果代



(a)兩端開口的琴管的前四種振動



(b)一端開口的琴管的前四種振動



(c)封閉的空氣柱的前四種振動

圖 12 — 164

各圖上方之 λ，表示各種振動的波長，A為波峯所在，N為波節所在

入（1）式中，可求得波動函數爲

$$\Psi(x,t)=\sin\frac{n\pi}{l}x(A_n\cos 2\pi\nu_n t+B_n\sin 2\pi\nu_n t)$$

$$n=1,2,3,4,\cdots$$

很明顯的這種波動也是縱駐波，其波節在

$$x=\frac{m}{n}l \qquad n\geq m=0,1,2,3,\cdots$$

這與定長繩上的波動相似，只是這裏所討論的是縱波，而定長繩上的波動是橫波而已。

上述三種情況，可以圖12—164 (a)，(b)，(c)三圖分別示其大略。

【畫面】(Frame)

當畫像信號不是空白，電視幕響應佔有之總面積。

【畫面比】(Aspect ratio)

又稱縱橫比。電視機畫像之寬度與高度的比值，目前採用4：3居多。

【畫幕】(Viewing screen)

幕上之燐光層，能使陰極射線管電子射線的電能轉爲視像。

【畫像分析器】(Image dissector)

與攝像管目的相同，但工作、結構不同。

【畫像失眞】(Image distortion)

電視接收機所顯出之畫像與原有實物不相同。

【畫像合成信號】(Composite picture signal)

信號中包括空白信號及同步信號。

【畫像負相】(Negative picture phase)

令畫像信號電壓在負向，低於零電平，增加畫像的光彩。

【畫像接收機】(Image receiver)

如電視或雷達接收機。

【畫像頻率】(Picture frequency)

電視畫像每秒掃描次數，普通每秒 30 次。

【畫像濾波器】(Picture filter)

在電視簾幕前放一塊顏色玻璃或塑膠。

【發火栓】(Ignitor)

發火栓是電路的一部分。發火栓在電路上有一個小小的缺口，電流到此必須要越過；每當電流在電路上要越過這個缺口時，就造成了一個火花。假設電流在電路上不停地流動，每一個發火栓上也就會爆一次火。不過事實上並不如此，火花是當煤氣與空氣混合而準備要在汽缸裏爆炸時才發生的。有一種小的機件叫做定時裝置的，是專用來控制這種發生的。定時裝置旋轉著，在正確時間要使混合氣體由火花引起爆炸時，才讓電流通往發火栓。汽缸裏面有一個孔，每當爆火後就開啓了，讓廢氣由排氣管排出去。

【發光】(Luminescence)

由於生物或化學的過程，輻射或任何其他原因所產生的放射(高溫除外，它產生的是白熱光)。

【發光度】(Luminosity)

光通量(*flux of light*)與對應輻射通量之比。其單位是流明(*lumen*)每瓦特，所謂流明是一燭光均勻點光源發射的光，通過單位立體角的光通量。發光度與光源所輻射出的能量有關，但主要還是看眼睛對各種波長光波的靈敏度。

【發光強度】(Luminous intensity)

指光源的明亮程度，以燭光(*cd*)單位表示。

1燭光為白金(鉑)於1,769.3°C(白金的熔點)發出光輝時，垂直於光源之1平方厘米($1\ cm^2$)面積所受光度之1/60。發光強度若用數學式子表示則為

$$強度\quad I=\frac{dF}{d\omega}$$

式中 dF 是通過立體角爲 $d\omega$ 球面度的角錐（錐頂在點光源上）內任何截面的光通量。

【發光體】（Luminous body）

凡物體能自己發光的稱爲發光體，亦稱光源。自然界最偉大的光源就是太陽；人造的光源則有很多種，其大部分爲高溫度的固體，例如燃燒的物質、通電時的電燈絲等。

各種光源的發光強度

光　　源	光　　度
100 W 瓦斯燈泡	100
直徑 2 cm 蠟燭	約 1
20 W之螢光燈	約 50
太　　陽	3.02×10^{27}

【發光體效率】（Efficiency of luminous body）

發光體所發射之光能與使其獲此光能之輸入能的比值。即

$$e'=\frac{I}{W}\ （燭光／瓦特）$$

或

$$=\frac{F}{W}\ （流明／瓦特）$$

一蠟燭設具有 8 瓦特之能可產生 1 燭光；美國麥芝達牌電燈泡（*Mazda electric bulb*）每瓦特產生 1 燭光；太陽每瓦特產生 8 燭光，故太陽之光效應比一蠟燭之 64 倍更佳。

【發音器】（Reproducer）

如揚聲器及耳機等。

【發送】（Transmission）

藉天線的電場與磁場將電能由此地傳送至他地者稱爲發送。無線電波之發送，大別之約有下列三種：

1. 等幅波發送（*continuous wave transmission*）——凡發送電波其波幅相等者皆謂之。

2. 減幅波發送（*damped wave transmission*）——凡發送電波

其波幅漸減者皆謂之。

3.單界波發送（ *single side band transmission* ）——亦稱單邊波帶發送。凡發送電波，僅使一波帶發送者皆謂之。

【發送機】（ Transmitter ）

產生射頻或已調波輸到天線作發射電波用者，即稱爲發送機。

最簡單的發送機僅包括一具產生高頻信號的振盪器。無論振盪器的型式如何，它必須要連接至天線，使成一具完整的發送機。在這種情況下，天線可輻射振幅固定的信號，它的頻率和振盪器發出的一樣。

如你家用無線電收音機，收到這種發送機所發出的等幅信號，你絕對聽不到一些聲音。如用特種型式的無線電收聽這些信號，將可聽到一種恆定的聲音。無論在那一種情況，從收到的信號中無法“讀出”其音信，這樣的信號並不包含信息。如要在信號中加上信息，可用電鍵將振盪器開閉，以產生“的”和“達”。像這類的信號才包含信息，因爲從這種信號中可以獲得音信。無線電收音機將會放出“的・達・的”的聲音，無線電報務員便會明白它是代表“ *R* ”字母。

每一發送機並不僅含一具振盪器，將振盪器直接連至天線有兩大缺點：

1.功率輸出低——因爲在振盪器和天線間無射頻放大級來放大射頻信號，所以功率輸出將受限制，而功率輸出的大小可決定收音機能收聽發射信號距離的遠近，這是很重要的。

2.頻率穩定性差——直接從振盪器中引出大量功率，將使它的頻率有漂移的傾向。一個發送的信號頻率假如漂移，則報務員在收聽時將失去部分音信。

爲了這些理由，故振盪器不能直接連至天線。

發送電信之設置，大別之約有下列數種：

1.高電容發報機（ *high capacity transmitter* ）——振盪電路

，取大容量電容器與小感應線圈組成者。

2.短波發報機（*short wave transmitter*）——振盪電路內之自感量與電容量減少者，發送之電波在6,000至30,000*KHz*（即波長在50至10米）之間。

3.火花隙式發報機（*spark gap transmitter*）——發報機由直流或低頻率交流電能而變成無線電減幅波發送者。

4.電子管發報機（*vacuum tube transmitter*）——振盪器由三極電子管而組成者，如哈特萊電路、考畢子電路、屏柵諧振電路及米字南電路等，即屬此類。

【發射】（Emission）

指電子管的陰極受熱而發射電子。

【發射元件】（Radiating element）

天線之基本"小部分"發射射頻電力者。

【發射光譜】（Emission spectrum）

提高一固體或一氣體之溫度，可使原子或分子之動能充分地增加，結果使原子或分子間產生非彈性碰撞。

被激發之原子、分子及核以電磁輻射方式釋出其過剩能量。例如，若一管中含低壓之氫，在二適當安置之電極上加上一大的電位差（如圖12—165），則可看到管中發光，為說明這個結果，可以認為被電場加速之電子與一些氫分子（或原子）作非彈性碰撞，使其處於激發態。所看到之輻射係為被激發原子返回其基態時所發射者。

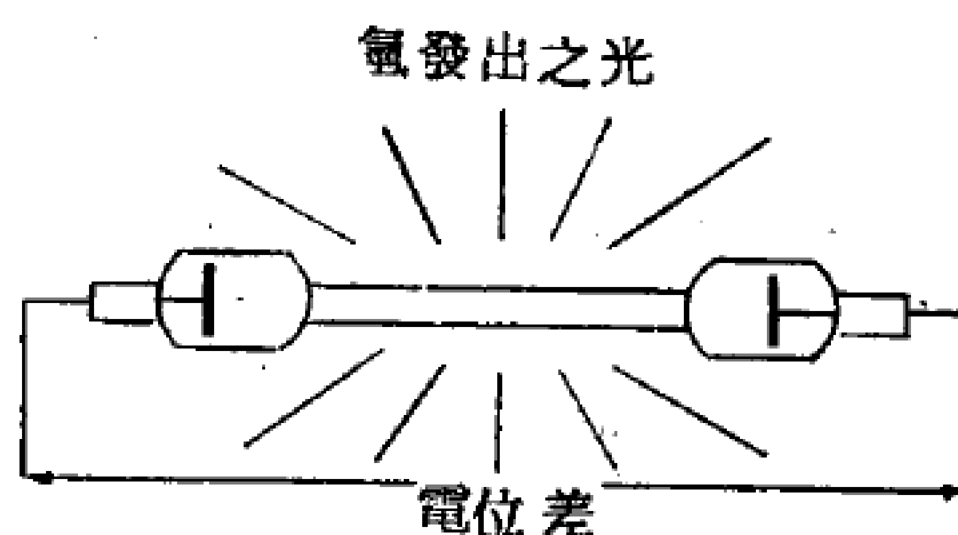


圖 12 — 165

一有趣之特徵為，每一物質所發射之輻射乃由一定之頻率ν_1，ν_2 ν_3，…所組成，這些頻率為物質之特性。用所有特性頻率之集合以表物

質之特性卽爲發射光譜。

【發射角】(Angle of radiation)

在天線上的一點，依最強之方向所畫的直線，與天線本身所成的角。

【發射效率】(Emission efficiency)

在同一表面發射之電子量與發熱功率之比值。

【發射場】(Radiation field)

發射天線鄰近空間的電磁場。

參閱“輻射場 (*Radiant field*) ”條。

【發射極】(Emitter)

晶體管的一個電極，它的工作與電子管的陰極相似。

【發射極接地式放大器】(Grounded emitter amplifier)

一種晶體管放大器，其發射極作爲基極與集電極的共同點。此式放大器是最慣見的，輸入信號加在基極，輸出信號則取自集極，其形式頗與電子管的陰極接地式放大器類似，電力和電壓增益都比基極接地式大，其線路及電子管等效線路如圖 12 — 166 (*a*)、(*b*)所示。

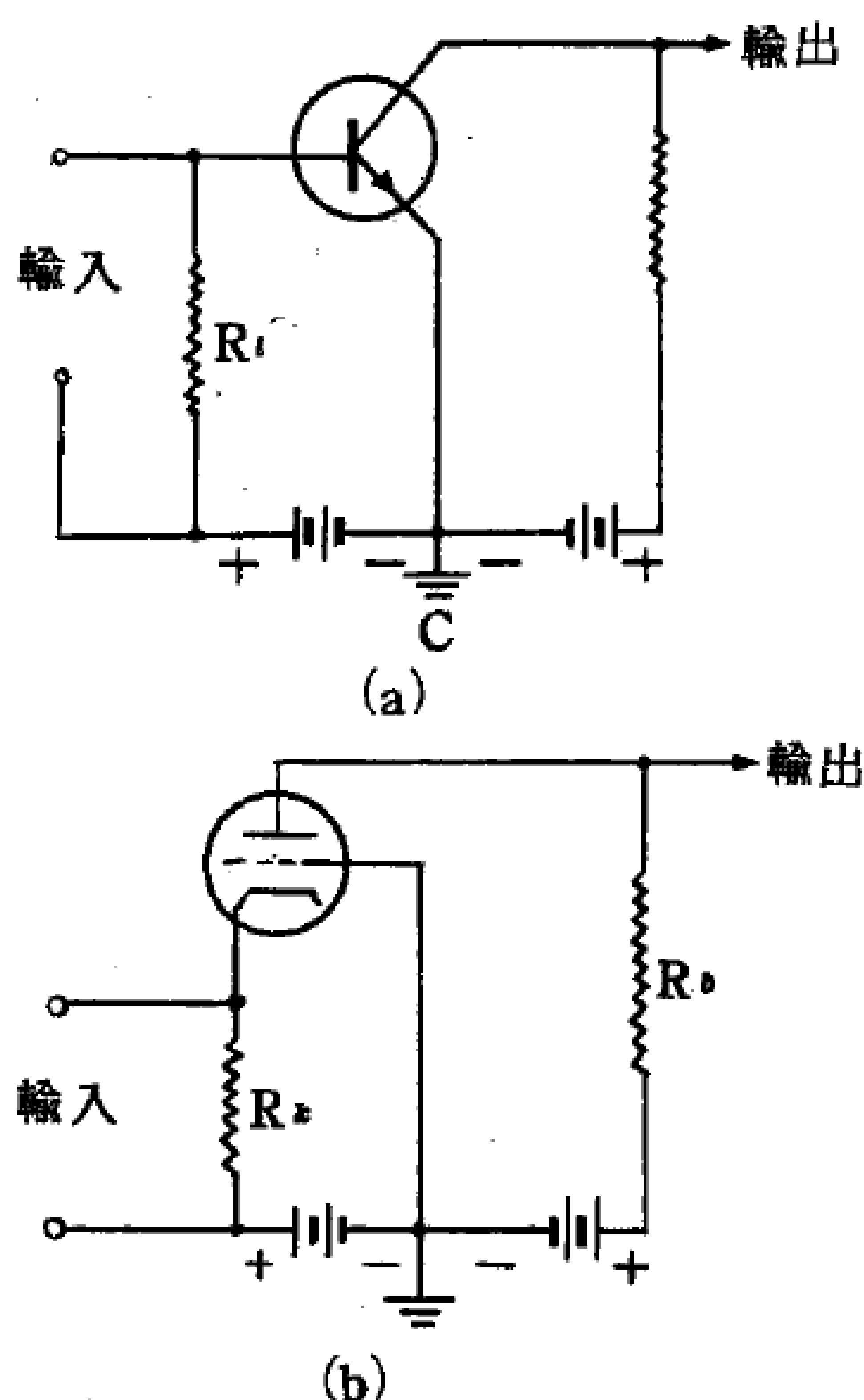


圖 12 — 166

【發射試驗】(Emission test)

試驗電子管陰極之發射量，可以斷定電子管的新舊程度。

【發射電功率】(Radiated power)

無線電波由天線發射，必含有電功率。此電功率於發射之後，不能復回天線，故以天線之一部分損失而觀

之，此種損失稱爲發射電功率。恆以 P_r 表之，其單位爲瓦特（watt）。

$$P_r = I_s^2 R_r = 1.58 \cdot 10^3 \left(\frac{I_s h_s}{\lambda} \right)^2$$

式中 I_s 爲天線電流（安培），R_r 爲發射電阻（歐姆），h_s 爲天線有效高度（公尺），λ 爲發報波長（公尺），P_r 爲發射電功率（瓦特）。

【發射電阻】（Radiation resistance）

無線電的發射天線電阻有三：(1)發射電阻，(2)耗阻，(3)介質吸收電阻。上列三項電阻中，僅發射電阻是有用的，因爲此電阻所消耗的電力就是產生信號電磁波的。凡組成發射電功率者，則稱發射電阻；以 R_r 表之，其單位爲歐姆。電阻之大小與發射電功率及天線效率成正比。

【發射臺】（Transmitting station）

擁有一副發射機或多副發射機的電臺。

【發射管】（Transmitting tube）

是專門用來產生或放大強功率振盪的電子管。發射管的構造與接收管是不相同的，因這種管子的功率要設計得比接收管大很多。設計發射管時的重要任務之一，是要排除管內由強功率的耗散而發出的大量的熱；在功率最強的管子內，功率可以達到數百個瓩。這個功率主要是耗散在屏極上，因此在強功率發射管內，就不得不對屏極進行人工冷卻。常用的是屏極空氣冷卻，這時發射管沒有玻璃泡子，屏極的本身就用作爲管泡，周圍加以吹風。爲了冷卻得更好，便在屏極的外表面上設置許多翼片，或採用屏極水冷法，這使得現代最強功率發射管的製造成爲可能。

【發射管燈絲電路】（Filament circuit of transmitting tube）

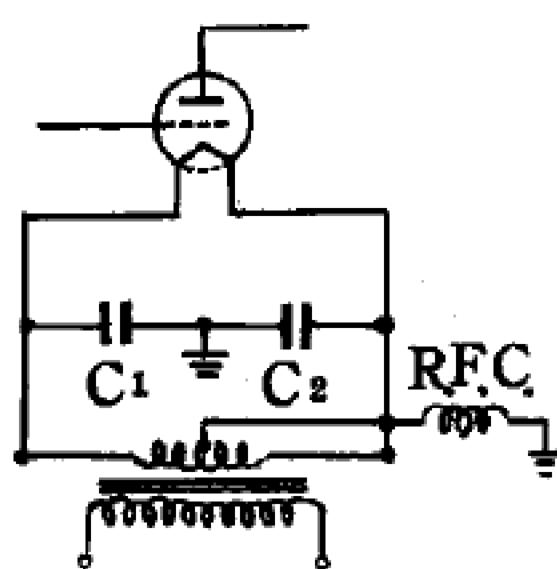
在許多發射機中，爲供給大量電流的需求，發射管用直接加熱式，陰極常用鎢絲，其壽命較長，惟直熱式陰極電路較爲複雜，如圖 12—

167 (*a*)所示。

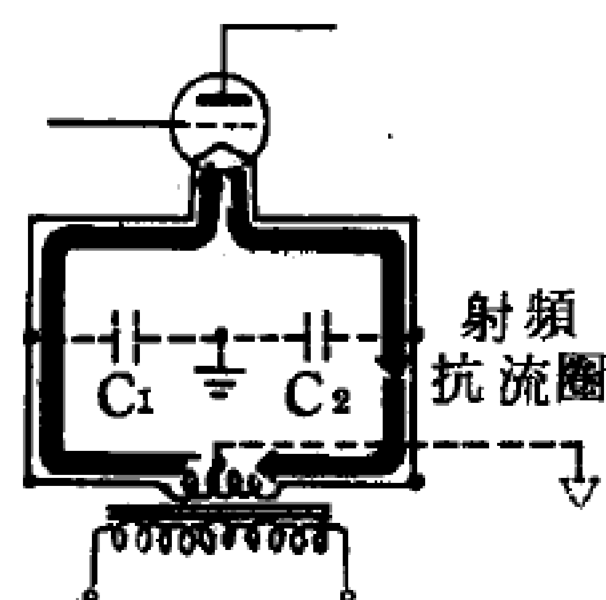
如圖(*b*)，燈絲跨接在燈絲變壓器的二次繞組兩端，二次繞組的中點接地，可以減少60週交流電對屏極的干擾。

如圖(*c*)，變壓器的中點接頭，經射頻抗流圈接地，使射頻電流不致流入變壓器的繞組，所以射頻直接經C_1和C_2分道而到達燈絲。

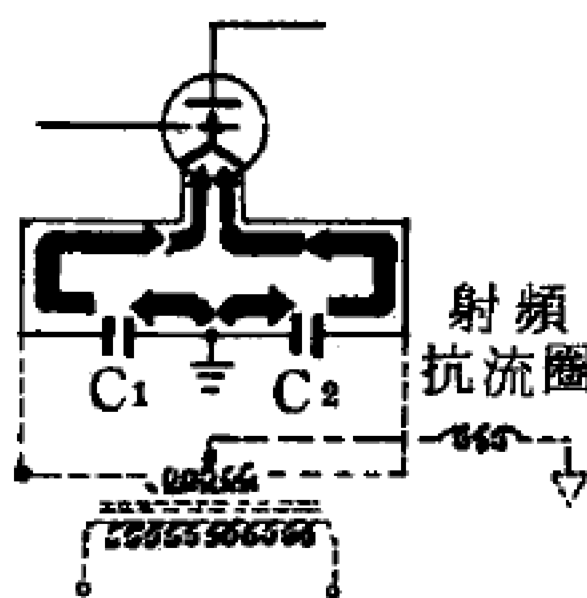
如圖(*d*)，管的直流電是由地經射頻抗流圈，分別再經變壓器二次繞組到達燈絲。因為直流電分路行經二次繞組，燈絲兩端的直流電位相等。如一端電位比另一端為低，則該端一邊的電流較大。如燈絲兩端電位相等，則每邊的電流相等，燈絲平衡發射電子，其管的壽命較長。



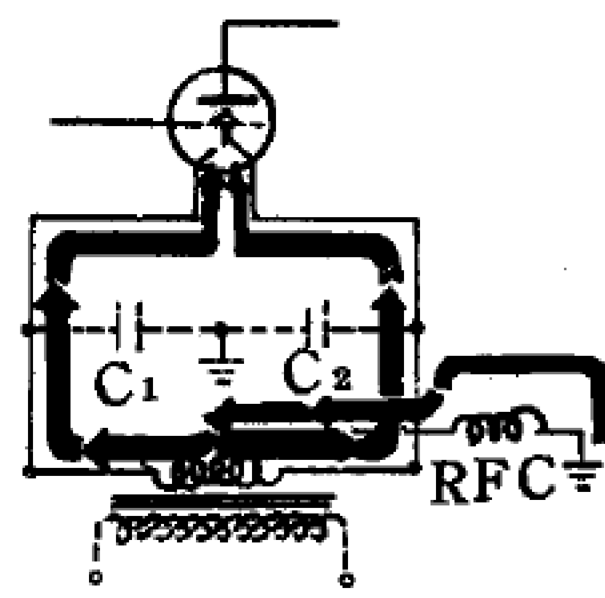
(a)典型陰極電路



(b) 60週加熱器電流路徑



(c)射頻電流路徑



(d) 直流電路徑

圖 12—167

【發射模型】(Radiation pattern)

發射天線發射電場之圖表。

【發射線路】(Transmitting circuit)

例如廣播發射機、電視發射機等的線路。

【發射體】(Radiating body)

指陰極表面之發射物質。

【發動機】(Engine)

利用熱能化為動能的機械。有蒸汽發動機、電動機、內燃機等多種。

【發動機之冷卻系統】(Cooling system of engine)

燃燒著的燃料在發動機裏產生熱，爲了防止發動機有過熱的現象發生，在機內裝有冷卻系統，以便熱量產生時儘快把它帶走。

在發動機汽缸周圍有水套，這一水套是汽缸與發動機外殼之間開放的空間。水通過此一空間而循環，由汽缸裏吸收熱量，再用泵使加了熱的水，通過發動機的散熱器，這散熱器具有一組空氣道，水由一些空氣道流過，而空氣則通過另外一些空氣道。發動機的風扇以及汽車的運動，使空氣快速地流動。因此，熱水通過散熱器後便冷卻了，這水再回到發動機的水套去，準備把更多的熱帶走，如此便構成一套冷卻系統。

【發散透鏡】(Divergent lens)

一束平行光線射到凹透鏡上後，折射光分散。凹透鏡因有發散光線的作用，故亦稱爲發散透鏡。此類透鏡中央部分要比邊緣部分薄些。發散透鏡的種類很多，最常見的是雙凹透鏡（如圖12—168 ）。平行於主軸之光線折射後卽分散開來，但其反方向的延長線則可交於一點 F_1 ，是卽虛焦點及負焦距 f。圖12—168 所示，係實物 AB 之像 A_1B_1 。凹透鏡生成之像點（例如 B_1 ），並非折射線本身之交點，而僅係其反方向延長線之交點，故發散透鏡或凹透鏡所生之像恆爲虛像。

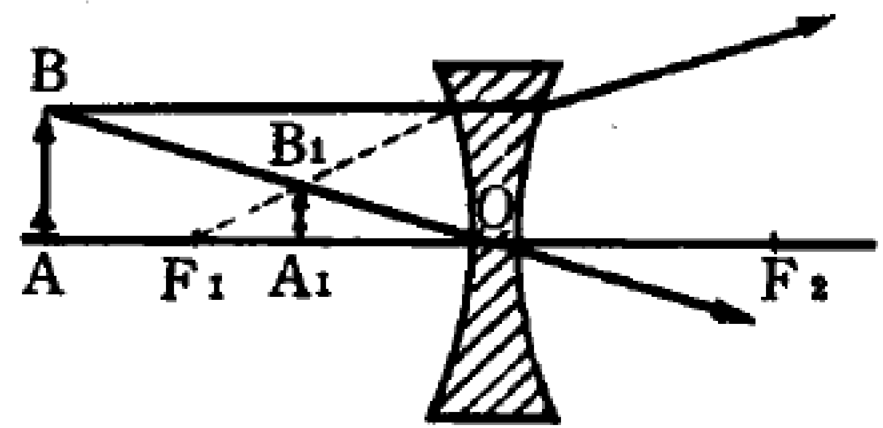


圖 12 — 168
發散透鏡之作用

【發電】(Electrify)

以絹摩擦玻璃棒，或以毛布摩擦火漆棒後，則玻璃及火漆均能吸引輕物，此時玻璃及火漆爲發電。

【發電用核反應器】(Nuclear reactor for generating station)

在傳統的發電廠中，燃料（煤、石油或天然氣）是放在鍋爐內燃燒

，由此所得的熱可用來產生蒸氣，然後再由這些蒸氣來帶動渦輪發電機，因而產生電力。然而在原子發電廠中，熱是由核反應器所產生的，也就是說反應器代替了傳統的鍋爐。

目前在美國已開始操作或接近竣工的原子能發電量，其總數已達到1.5百萬瓩，這個數目和美國最大的水力發電廠（*Grar Coulee*）、康州（*Connecticut*）或是丹麥的電量比較起來，固然是已經很可觀的了，但就整個美國來說，仍然不能算很大的。事實上它只佔全美總發電量的1％，其原因乃在於原子能發電才剛從研究與發展方面進入到實際上的應用。美國原子能發電計劃之所以受人重視，並不在於它巨大的發電量，而在於它的技術知識。

要使原子能發電能和傳統式的發電競爭，不是一件容易的事，因為傳統式發電已經具有好幾個年代的發展歷史，同時工廠也在不斷地改善中，在這方面的進步我們不難從利用燃料的效率上看出，在二次大戰期間，美國電力工業（*U.S electric utility industry*）的燃料消耗率為每產生1瓩．小時（即一度）電力需1.3磅的煤（或煤的同等物），而在今天卻只要不到0.9磅的煤，即在效率上增加了30％。另外一項更好的事實是，雖然現在的燃料價格和工資都在急遽上漲中，但電力產生的單位價格，它的全國平均值，在今天竟能維持和20年前相等。

電力工業之所以如此進步，主要是來自下列三個方法：(1)增加蒸汽鍋爐操作時的溫度與壓力，由此可產生品質較好的蒸氣，再引到渦輪發電機中，則可達到較高的效率把熱變為電。(2)加大各種發電裝置的規模，減少每單位工廠容量的投資資本，由此也減少了每單位功率輸出時所需的成本。(3)工廠及裝備的設計更加精良。當然，在原子能發電技術的發展上，也是照此方向努力的。

那麼原子發電的工作現在究竟做得如何呢？大致說來還相當好。在幾年以前，原子能委員會曾訂了一個短期目標，在1968年以前，

將美國傳統燃料昂貴的地區，以原子能發電來和原有的發電競爭。然而，這些燃料昂貴的地區所生產的電力，畢竟只佔全美的$\frac{1}{5}$，所以要想原子能發電能整個代替傳統式的發電，還需要一段相當長的時間。

南極似乎沒有建立原子發電廠的必要，然而事實上已經有一個了，它位於馬克摩德桑德（*Mc-Murdo Sound*），是一個小規模的（1,500瓩），爲美國南極科學活動的主要供電站。它於1961年十二月十四日，也就是阿門森（*Amundsen*）南極探險的50週年紀念日，將預先作好的小部分，分批裝上船，80天以後就開始操作了。

馬克摩德桑德反應器的設計是屬於*PM*-3*A*式的，它代表"可攜帶的發電廠3*A*號"（*Portable Medium Power Plant No 3A*），是由國防部及原子能委員會所共同發展的一系列許多小型原子發電廠中的一個。專供偏遠或災難地區的急用，能用來發電及產生熱。這種發電廠它的輸出功率範圍可從幾百到一萬瓩不等。有三種不同的形式：固定型、可攜帶型及機動型。

到目前爲止，在偏遠地區已經啓用的發電廠，都是屬於壓水式的，然而另一種氣冷式反應器現正試用於機動型發電廠上，還有一種高溫液態金屬反應器系統也正在發展之中，可用來供給軍事方面用的極精緻的電力系統。

由於原子燃料在後勤補給方面上的簡易，乃促進了軍用反應器計劃的推行。這種燃料是非常精緻的，所以在運輸上相對地就顯得容易和便宜。

原子燃料究竟精緻到什麽程度呢？一克可裂性材料當它完全分裂時，可放出23,000瓩-小時的熱，這表示一噸的鈾它所含有的能量，大約等於3,000,000噸的煤或12,000,000桶的油。雖然在實際應用上，原子燃料在反應器中操作一次單循環中，只能吸取出它的一部分能量，儘管如此一噸反應器燃料卻仍能抵得上好幾列火車所滿載的傳統性燃

料。

【發電機】(Dynamo or electric generator)

利用線圈在磁場內轉動，使機械能變成動能的裝置，玆分述如下：

1. 電樞(*armature*)——繞於轉動的軟鐵芯軸上，是發生電流的線圈。

(1)單相發電機(*single phase dynamo*)爲電樞上僅有一組線圈的發電機。

(2)二相發電機(*two phase dynamo*)爲電樞上繞有互相垂直的兩組線圈，則一發電機同時可有兩種電動勢。

(3)三相發電機(*three phase dynamo*)爲電樞上繞有互成 120° 的三組線圈。

2. 場磁鐵(*field magnet*)——供給磁場的磁鐵(多爲電磁鐵)多極場磁鐵之 N、S 極皆爲相間排列；磁極對數增加，可減少電樞轉數而仍維持同頻的電流。

3. 集流環(*collecting ring*)——將電流導出的裝置；因導出電流之不同，又分：

(1)交流發電機(*alternator*)乃在電樞的轉軸上裝有與通外電路之導線數相當，且互相絕緣的金屬環；每環各與線圈之一端相連，其上更置有位置固定的金屬刷(*brush*)。當電樞轉動半週時，電流自一刷流至他刷以成通路；再轉半週電流方向即與前相反，故在外電路中有方向交變的電流通過。

(2)直流發電機(*direct current dynamo*)可將交流發電機之諸金屬環代以一整流器或換向器(*commutator*)，即可使通至外電路之電流方向化爲一致。

其次分述其作用如下：

1. 電流的產生

(1)交流（*A.C.*）電流自*A*、*B*二端（環）導出，如圖 12—169 所示。

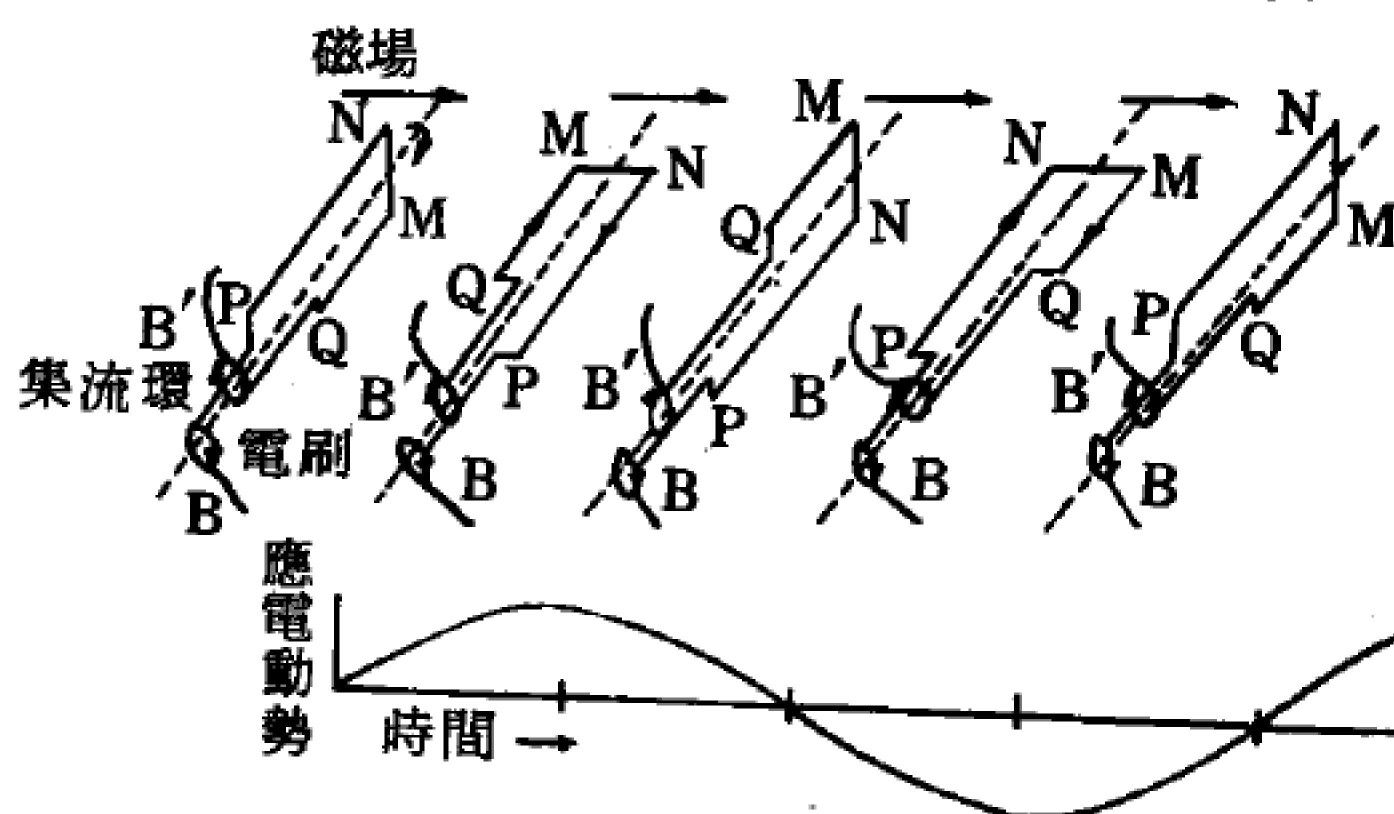


圖 12—169

(2)直流（*D.C.*）電流自*A*、*B*二刷導出，如圖 12—170 所示。如欲得較穩定的直流，則以多相發電機將整流環分爲與線圈組數之 2 倍相等的絕緣瓣，仍以二金屬刷固定於兩旁即可。

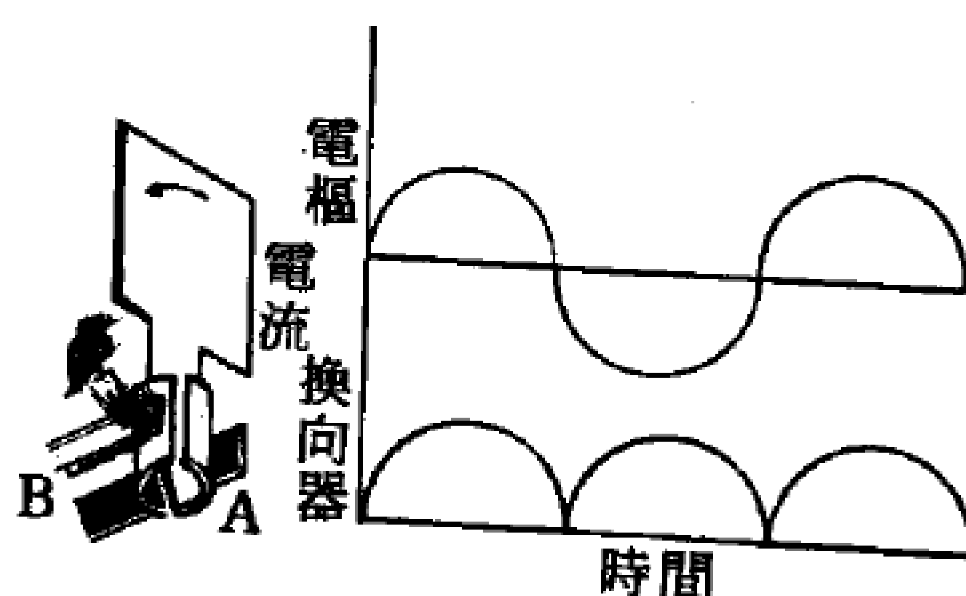


圖 12—170

2.磁場的激發（*excitation of the magnetic field*）

(1)分激法（*separate excitation*）是在發電機以外，另以一直流發電機，供給產生磁場的電流。此分激法常用於交流發電機，而稱爲分激發電機（*separately excited dynamo*），其供給電流之直流發電機稱爲激發機（*exciter*）。

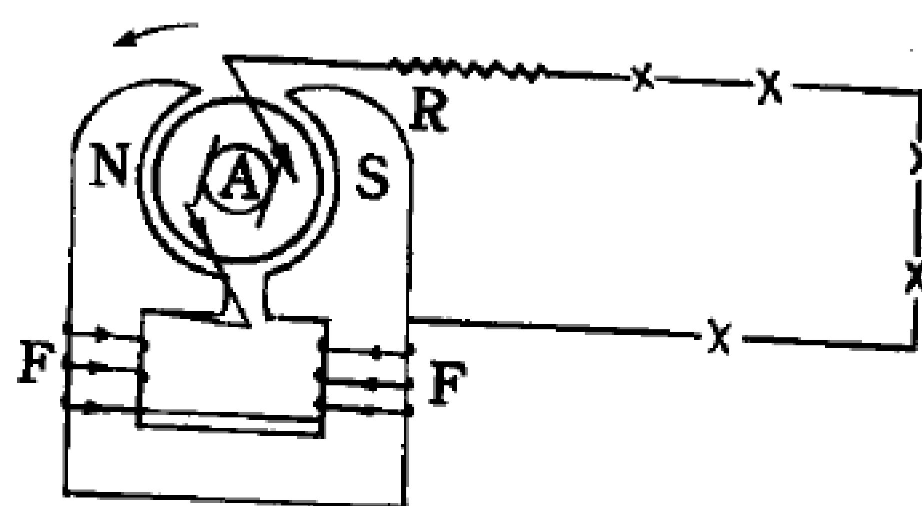


圖 12—171

(2)自激法（*self-excitation*）是利用磁鐵之剩磁（*residual magnetism*）使電樞由轉動所生的應電流（甚弱），通過其本身的場磁鐵，使線圈漸次激發，至一定的磁場強度，此種電機稱爲自激發電機（*self-*

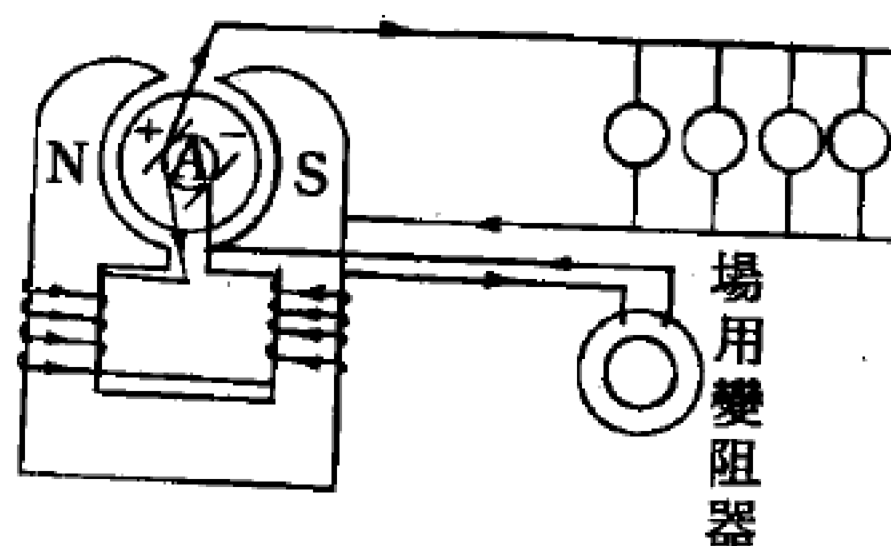


圖 12—172

excited dynamo ），限用於直流發電機中；又因其繞法之不同，可分爲

①串繞發電機（ *series wound dynamo* ）：使場磁鐵之線圈與外電路相串聯。如圖 12 — 171 。因通過於線圈中之電流與外路等強，故欲維持一定之電動勢，外路電阻須一定。若應用粗線而匝數少，由此繞法可得較強電流。

②分繞發電機（ *shunt wound dynamo* ）：將場磁鐵的線圈與外電路並聯於二刷上。如圖 12 — 172 所示。外阻須一定方可維持一定之電流在分繞線圈中通過，以生一定之場強及電動勢。分繞線圈宜細且多，方可激發所需之場強。

③複繞發電機（ *compound wound dynamo* ）：串並繞並用，如圖 12 — 173 所示。串繞部分爲粗線、匝數少；並繞部分反是。由此種連接，因激發所生之磁場強度，與通過兩部分線圈中電流之總和成正比；而其電流總和恆有一定，故由此繞法可得穩定的電動勢。

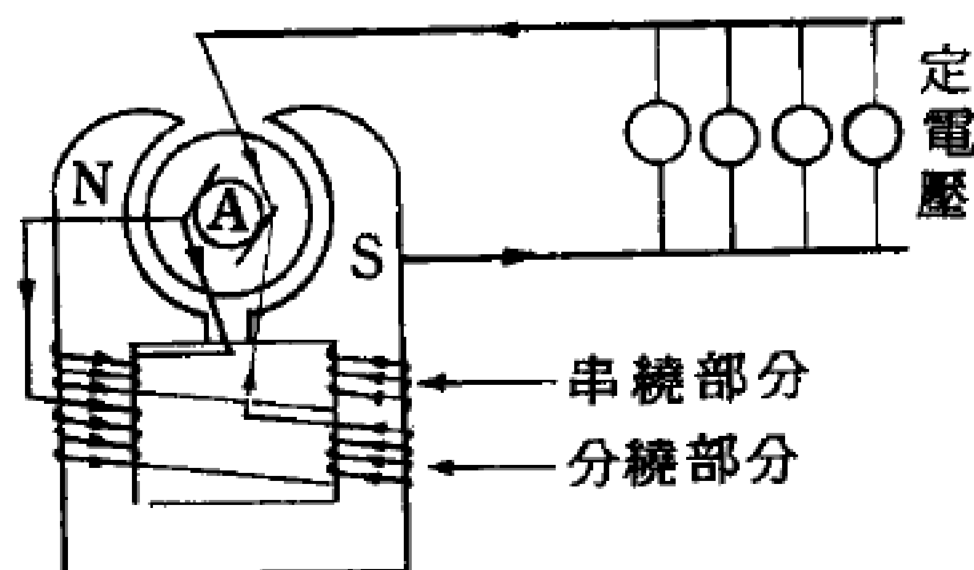


圖 12 — 173

【發電機定則】（ Generator rule ）

用佛萊銘右手定則（ *Fleming's right hand rule* ）判定直線截切磁力線時所生應電流的方向，因此一定則常應用於發電機中，故又稱爲發電機定則。

如圖 12 — 174 所示，將右手之拇指、食指、中指伸直，使互成直角，如食指示磁場方向，拇指示運動方向，中指即示應電流之方向。

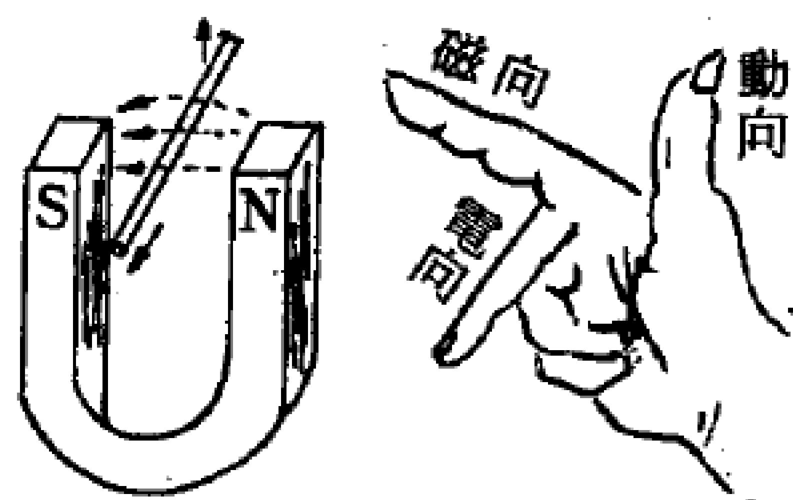


圖 12 — 174

【發話機】（ Transmitter ）

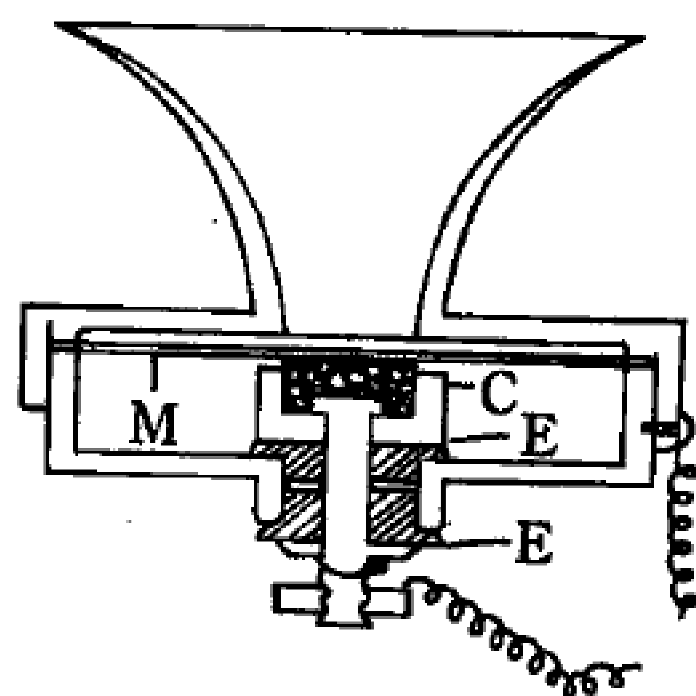


圖 12 — 175

現今通用之送話機爲微音器所改良者。其構造如圖 12 — 175 ，*M*爲碳製之薄板，*C*爲碳製之杯形器，其中盛以細碳粒，令與*M*板輕觸，*E*爲絕緣體，其他皆金屬，如圖所示以導線附於其上，連絡於電池及受話機，令其借*M*板及碳微粒之通路而成一電路，而喇叭口發音，則碳板*M*振動，其與碳粒接觸之度變易，而電路之電阻生變化，電流之強度亦應之變化。即接觸緊時，電阻小，電流強；反是則電流弱。由是受話機所生之感應電流亦或強或弱，而使受話機內之鐵板與*M*板殆成相同之振動，聞之如人之言語。

【發聲器】(Sounder)

詳閱“電報(*Telegraph*)”條。

【發聲體】(Sounding body)

能因振動而發出聲音的東西叫發聲體，例如音叉、琴或手提琴的絃。

【短半徑之測量】(Measure of short radius)

有許多場合如目鏡透鏡、顯微鏡透鏡等等，其直徑均甚小不能滿意的使用於球徑計。欲測此等透鏡之半徑常用光學方法如圖 12 — 176 所示，一顯微鏡安裝一側管，管端有一十字線*C*；其物像由一顯微鏡物鏡造成(該物鏡焦距約 1 吋或 2 吋)，經由反射玻璃平面 *P*至點 S_1。若欲測之凹或凸平面置於此點，則*C*之後反射物像將在目鏡之焦平面*F*上造成。此表面再移動至位置 S_2，如此則在*C*之第二物像能看見時光線正常照射此表面上，距離 S_1S_2 (用測微螺旋測定)即此表面的曲率半徑。

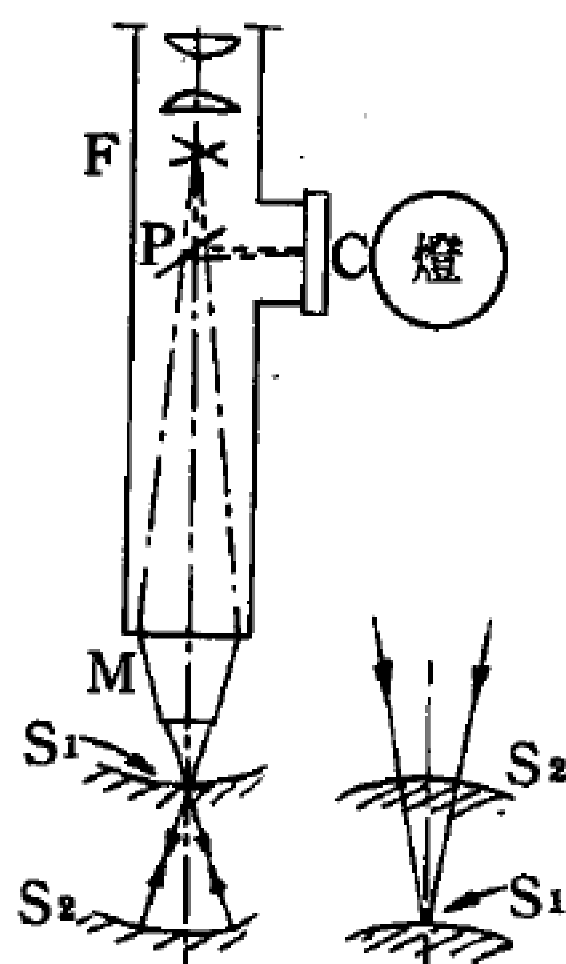


圖 12 — 176

用此測驗時須注意兩點，(1)透鏡之背面須敷以凡士林以免由此發生額外的反射；(2)所用物鏡的焦點深度及工作距離應愈小愈好，因表面半徑能影響測微螺旋在任何場合中安置之精確性。

【短波】(Short wave)

波長短於200公尺，頻率高過1,600仟赫的叫做短波。短波與更長的波之間的主要區別在於其傳播的特性不同。更長的波主要是在地面上以地面波（地波）的形式而直接傳播。短波則主要是以空間波或天波（如圖 12—177 ）的形式而傳播於大氣的上層。

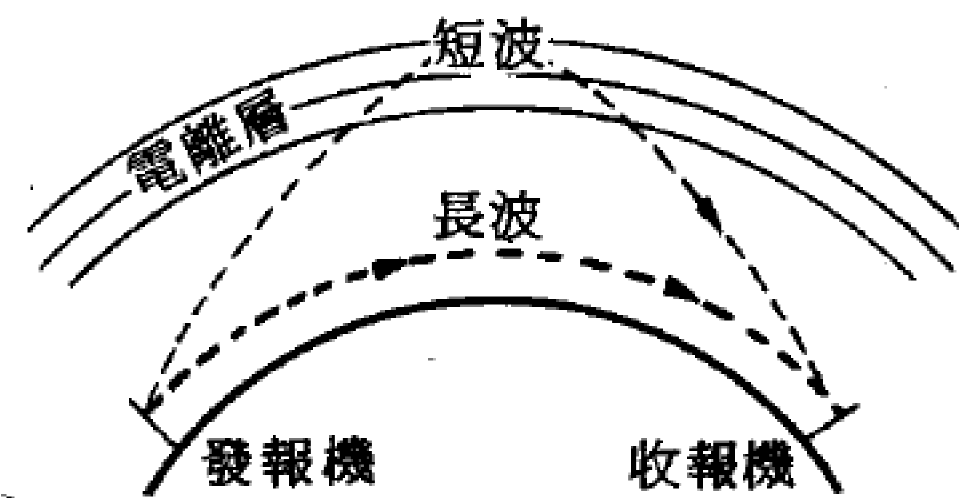


圖 12—177　天波

使用短波時，表面波雖然也存在於發射機的附近，但由於大地的強烈吸收，很快地便衰減下去。而空間波是在地面上的高空中傳播，不致受到地面的任何吸收，所以隨距離而衰減的程度非常微小。如果空間波是直線式地傳播出去，則它將不能再返回地面。然而在電離層發生著短波的折射作用，所以空間波就可以返回地面了，如圖 12—177 所示。這樣一來，在大地隆起部分所隔開的各地之間，便有了可能利用空間波來建立通信。由於地面的反射，回來的波又可能重新到達電離層，在電離層中經過第二次折射，再回到地面，這時所到的距離大致爲第一次所到距離的 2 倍。短波傳播到很遠的距離以外時，永遠不只是由於一次折射，而最少也是電離層兩次折射和地面一次反射的結果，甚至還多於兩次電離層折射與一次地面反射。

短波的傳播特點也就形成了短波無線電通信性質中的特點。利用短波，即使在低功率時也可以達到很遠的距離，不過兩地之間通信的可能性是劇烈地隨著一年和一晝夜的時間而變化（因爲隨著時間的變化，大氣各層的高度與電離程度都有所不同）。因此，爲了保證正規的無線電

通信，就只好在一年的不同時間內採用不同長度的電波〔在一晝夜內的不同時間中應用各種不同的波長（日間波和夜間波）〕。

【短波發射機】（Short wave transmitter）

一部發射機，它發出的電波波長是小於200公尺的。

【短波變頻器】（Short wave converter）

這個線路組成的機件，使用時接在收音機與天線之間，如此就可以接收到本來收音機不能接收的較高的頻率。它包括了振盪器、混頻器及第一檢波器，將高頻信號改為廣播段頻率輸入收音機。

【短時間之測定】（Determination of short time）

對於短暫時間的測量，若在十幾秒到幾分之間，通常我們可以用停錶（*stop watch*）來計時。若時間只為幾秒，則因人類脈搏跳動一次約為 1 秒，故可利用脈搏來測定。當時間間隔小於一秒時，可以利用電鈴的規則振動週期來作為時間量度的依據。

若要測量得更精確，就必須用到兩種精巧的器具，即閃光攝影機和同步定時儀（*stroboscope*），茲分述如下：

1. 閃光攝影機——普通攝影機的快門可以在極短促的時間內啓閉。構造簡單的單速攝影機，啓閉之時間約為 $\frac{1}{50}$ 秒，構造精細者可調整至 $\frac{1}{250}$ 或 $\frac{1}{1,000}$ 秒，縱使在如此快速的曝光裏，我們還可能攝得模糊不清的照片。如要“凍結”住一個高速運動的物體，必須應用一種叫高速閃光法的攝影技術，將攝影機置於暗室中，將快門打開，以突發的強烈閃光照射在被攝物體上。僅在被攝物被閃光照射之瞬間，照片上才有影像，所以拍攝之結果可顯示在極短促時間內的動作。若使閃光快門每秒閃光 4,000次，則每張照片的時間間隔將為 $\frac{1}{4,000}$ 秒。

2. 同步定時儀——此儀器為一個盤子，在其周緣刻有等距離的若干狹縫。欲明瞭此儀器度量時間的原理，如圖 12—178 所示，先假定

圓盤上僅有一條狹縫，用以測定唱機轉盤旋轉一次所需之時間。在轉盤上畫一箭矢作爲記號，令轉盤平穩旋轉，然後使同步定時儀繞軸轉動，經由狹縫注視轉盤，每當狹縫轉過眼前，必可瞥見轉盤一次。

現在假設同步定時儀之轉速能使狹縫轉動一圈，所需之時間與轉盤轉動一次所需之時間相等，則每次瞥見轉盤上所畫之記號必在同一位置。固然，此一記號事實上是隨盤而轉，然眼中所見則似爲靜止不動。如此，若已知同步定時儀轉動一週之時間，則轉盤之轉速亦即可測出。若定時儀轉動稍快，則所瞥見之轉盤上之記號不再呈現靜止之狀，因兩瞥之間，轉盤上之記號未能及時返回原來之出發位置；又若定時儀轉動稍慢，則兩瞥之間盤上記號必超越原來之位置，如是眼中所見之記號皆成運動狀態。我們若控制定時儀之轉速，使所見之記號穩定，恰成靜止狀態，則二者轉動一週所經時間必相等。故運動物體之頻率公式如下：

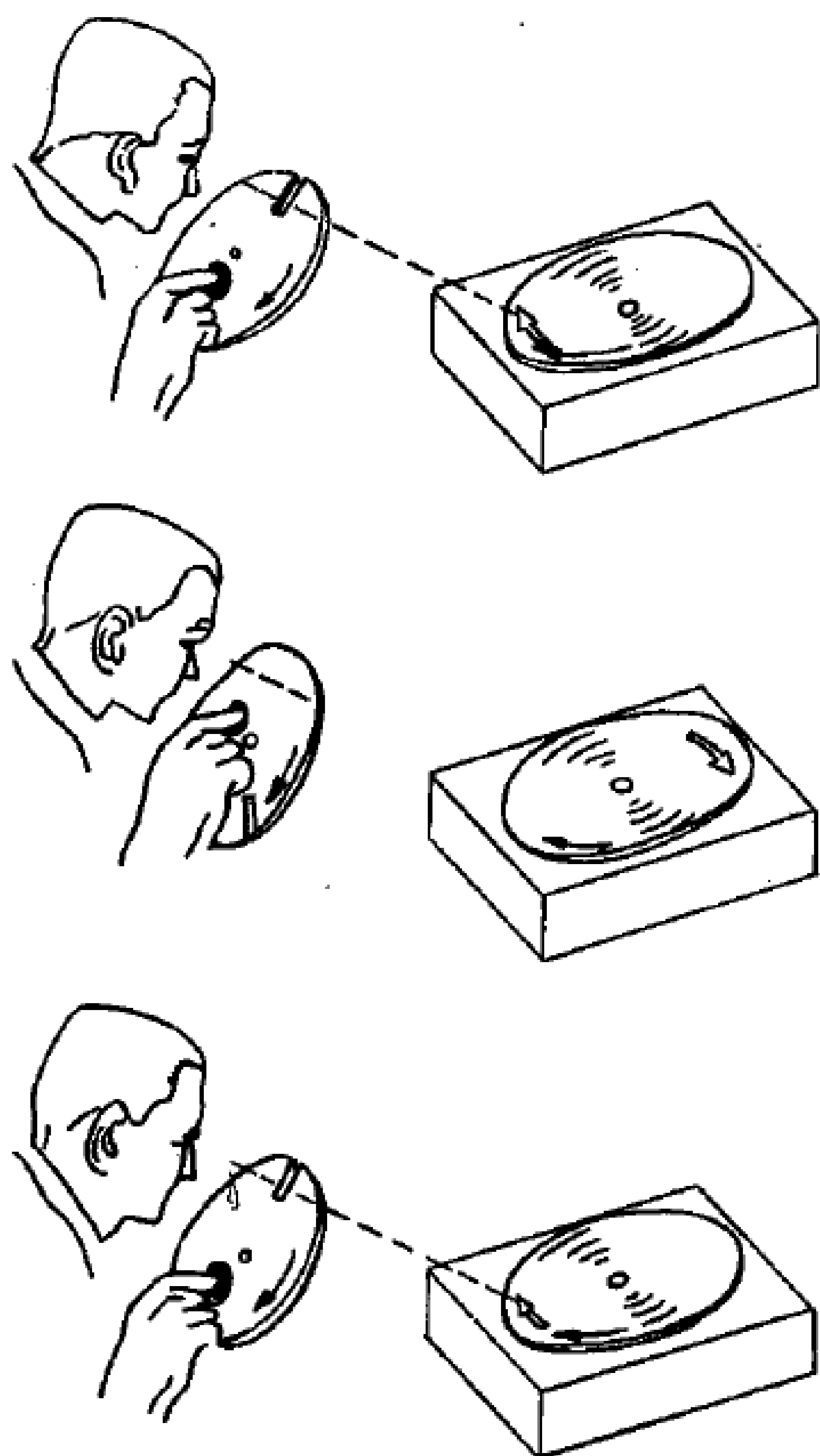


圖 12 — 178　同步定時儀的原理

運動物體之頻率＝狹縫數 n ×同步定時儀之頻率 f

卽物體轉動一週所需之時間　$T=\dfrac{1}{nf}$　。

同步定時儀亦可量度高速旋轉中物體之轉速。例如，在同步定時儀上，若有12 條狹縫，則轉盤每週一次，可瞥見轉動物體達 12次之多，因此所測定之物體旋轉一次所需時間比例減縮，其減縮之倍數與轉盤上所刻狹縫之數目相應。

舉例言之，以同步定時儀觀察繫於繩端而旋轉之小球，測定其旋轉一週所需時間。當定時儀每2秒轉動一圈時，瞥見小球似爲靜止，而定時儀上共有狹縫6條，則每經1/3秒，即有一狹縫經過眼前，因此小球轉動一次，所需時間即爲1／3秒。

與其他儀器相同，同步定時儀亦有其使用限度。若轉盤旋轉過速，或所刻之狹縫過多，或因狹縫之寬度太窄等原因，致使透過狹縫射入眼中之光線過弱，無從瞥見旋轉物體上之記號。此外，如前述之唱機轉盤，經同步定時儀之觀察呈靜止狀態，我們可以認爲定時儀旋轉速度與轉盤相等。然而亦有可能在定時儀旋轉一次之時間內，唱機轉盤已經完成2次、3次甚至4次之轉動，而在觀察效果上並無不同之處。如何才能確定二者確爲同速？此乃運用定時儀常遭遇之困難。通常可以下述之簡單方法校正之：在實驗中，當我們瞥見物體似爲靜止時，即再加快定時儀之轉動速度，此時可能有兩種結果，一爲在某一較高轉速下，可瞥見再一次之靜止狀態；二爲無論定時儀轉速如何增加，均無從再瞥見靜止狀態。若情況如後者，則原有靜止狀態時，定時儀之旋轉速度即爲欲求之轉盤轉速；反之，若情況如前者，則我們必須加快定時儀之轉速，直到不能找到另一次靜止狀態爲止，然後根據定時儀在最高轉速下所瞥見之靜止狀態來測定轉盤轉動一次所需時間。

應用上述原理，可將同步定時儀置於攝影機鏡頭前方，代替發生閃光之光源，當每一狹縫掠過攝影機鏡頭時，其效果與一次閃光相同。在此情況下，我們可選擇適當的狹縫數與轉速，以控制各照片相隔時間，而由動體在照片上各個影像之距離，量得動體運動的速度。

【短程力】(Short range force)

指核子間的力，作用範圍很窄的。

【短距離輻射治療】(Brachytherapy)

一種放射性的處理，將固體或密封的放射性同位素置於人體表面或

者與被治療的部位有一段短的距離。

參閱“輻射治療（*Radiation therapy*）”條。

【短路】（Short circuit）

甚強電流通過低電阻之導線或電路會立即毀壞，此種現象爲短路又稱捷路。加有電壓之兩根導線直接相碰，或經由其他金屬相碰時便會發生短路。因爲該部分之電阻非常小，流過之電流非常大且發出高熱，因此有時導線之被覆因而燃燒引起火災。對付短路所引起的一般危險，可在電路上加入保險絲。電源變壓器高壓線圈發生短路的原因是由於其上層邊上的幾圈塌陷至線圈與頂板間的空隙中，並且與下層線圈邊上的幾圈接觸。電源變壓器高壓線圈的不同層間有很高的電壓，這個電壓足以擊穿導線的絕緣，而造成短路。

要消除這種毀壞，只要在線圈與線圈框頂板間的空隙中灌以石蠟就可。取一塊石蠟置於線圈與頂板的接觸處再用電烙鐵將其緩慢的熔化，這樣液體的石蠟就灌在線圈與頂板之間的空隙中，而牢牢地將每層邊上的幾圈固定於本身的位置了。

【短路電流】（Short circuit current）

如將電源接線柱以設有電阻的導線連接（即短路 *short circuit*），則根據歐姆定律 $J=\frac{U}{R}$，電流強度 J 將變爲無窮大，因當 $R=0$ 時，則 $\frac{U}{0}=\infty$。此時的電流強度確乎很大，但事實上還是有限的。短路時的電流強度稱爲短路電流，通常多以 J_{max} 表之。當導線沒有電阻時，其電位降落爲 0，亦即電動勢 E 與內電壓降 U_i 相等。故如以 U_i 表內電壓降，則短路電流

$$J_{max} = \frac{E}{R_i} = \frac{U_i}{R_i}$$

譬如電壓爲 8 伏特，內電阻等於 0.2 歐姆的電池，其短路電流

$$J_{max} = \frac{8}{0.2} = 40 \text{ 安培}$$

【短噸】(Short ton)

英制重量單位每2,240 磅爲一噸，稱爲英噸或長噸，美國通例以2,000磅爲一噸，稱短噸或輕噸。

【硬水】(Hard water)

在用久了的開水壺裏，常可以看到有一層白色的沉澱物，叫做水碱或水銹。那是因爲水中含有酸性碳酸鈣和酸性碳酸鎂兩種鹽類，它們受熱分解後，就會生成碳酸鈣和碳酸鎂的白色沉澱，這兩種沉澱都不會溶解在水裏面。此外水中還有溶解度很小的硫酸鈣，它可能沉澱很少部分，這些沉澱就是形成水銹的東西。在其他器皿也很容易發生，而開水壺發生得較快較多的原因，是壺中的空氣很稀薄，氧化性特強，會加速沉澱的加量；對於我們喝水卻有好處，不啻助了消毒一臂之力。

化學家叫不含鹽的水叫軟水，含鹽的叫硬水。開水壺的水不含鹽，便是軟水。其中含有酸性碳酸鎂的水，因爲煮沸後即可變成軟水，所以又叫它爲暫時硬水；而含有硫酸鈣的水，因爲煮沸後只能除去一部分，所以叫它爲永久硬水。

我們經常在洗衣服的盆裏會發現附著一層油膩，這就是肥皂和硬水中的鈣、鎂離子作用後生成的脂肪酸鈣和脂肪酸鎂的鹽類；由於這種鹽類在水裏不會溶解，遇著灰塵、油脂等，就會附著在盆裏或衣服上面，這樣會使衣服失去光澤，消耗較多的肥皂。

不過硬水對洗衣服的壞處還是小事，硬水對鍋爐來說，更能造成生命財產的慘重損失。這因爲鍋爐壁上如果長有一層水銹，就會使鍋爐的傳熱受到障礙，不止耗費燃料，日子一久銹層還會產生裂縫，水從裂縫進入水銹層和鍋爐壁之間，水和高熱鍋壁相遇，就會急速變成蒸氣，產生巨大的壓力；同時高熱的鐵和水蒸氣反應後又會放出氫氣來，也會迅速膨脹。其結果一定使鍋爐發生爆炸，因此鍋爐用水必須經過軟化。好些事例的發生，例如煉鋼、搪瓷、蒸餾、五金、焊接、熔鋁等化工廠常

常有鍋爐爆炸而引起火災、死傷，就是用水軟化檢查工作欠妥或不夠周密。

把水軟化的方法有很多，對暫時硬水的處理，可將它煮沸後除去沉澱即可變軟；在工業上則普遍採用熟石灰使酸性碳酸鹽沉澱，濾過後，就使暫時的硬水被軟化起來。

若是永久硬水，就須加適量的碳酸鈉或氫氧化鈉（即燒鹼），使硫酸鹽轉變成溶解於水的鈉鹽。此外，還有一種最廉價的粒狀軟化劑，它的學名叫做矽鋁酸鈉，由其中的鈉離子和硬水中的鈣、鎂離子互相交換，原來含有的硫酸鈣、酸性碳酸鈣及鎂等鹽，都會變成鈉鹽，鈉鹽不管在何種情況之下，都不會沉澱，也就是說再沒有硬水的壞處存在了。

軟化劑使用了 12 小時以後，其中鈉離子減少，軟化能力也隨著減低，這時可以把它泡在食鹽水中經過 12 小時後，食鹽中的鈉離子和軟化劑的鈣、鎂互相變換，恢復了它的軟化能力，還可以重新使用。

【硬心之揑縮系】（ Hard-core pinch ）

硬心之揑縮系是研究電漿穩定性的一條可行的探測路線，它是由通常的揑縮效應實驗發展而來。硬心是在環管（*toroidal tube*）中心處放一絕緣金屬環，環上的電流產生一環繞的磁場，並有一軸向磁場不陷在電漿裏面，卻環繞電漿。這兩個磁場圍控並壓縮電漿如圖12—179截面圖所示，加熱電流在電漿中沿管軸流動，硬心揑縮系放電確比穩定揑縮系（ *stabilized pinch* ）更穩定。

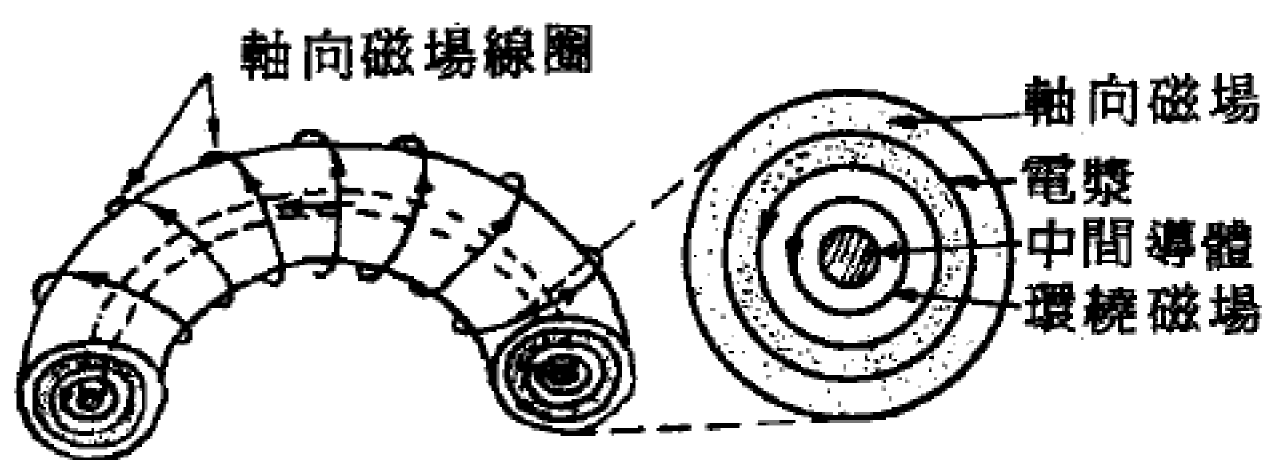


圖 12 — 179

【硬性電子管】（ Hard tube ）

指眞空程度高的電子管。

【硬性 *X* 射線】（ Hard X-ray ）

用一特定能量的電子撞擊金屬，如熱金屬絲放出的電子，在一電場中把它們加速，當高速的電子衝擊金屬片就產生了X光。整個過程必須在高度眞空管中進行，這樣就只有極少數的空氣分子阻擋飛行的電子而使它們減小速率；如果用很高的電壓，使得電子飛行甚快而以極大的能量撞擊金屬，可以產生透射力很強的X光。穿透力很強，波長非常短，頻率也非常高，這便是硬性X射線。

參閱“X射線（*X - ray*）”條。

【硬紙板】（**Pressboard**）

木棉等之紙板，再浸油質而成，為用作變壓器線圈間之絕緣質。其耐壓每0.1*mm* 約當800至1,300伏特。

【硬焊接】（**Hard welding**）

詳閱“焊接（*Welding*）”條。

【硬超導性】（**Hard superconductivity**）

硬超導體所顯示的特性，就是硬超導性。硬超導性往往是合金及在正常態有高電阻係數的過渡金屬，這些物質的電子有較短的平均自由路程，因此同調長度較短而侖敦滲入厚度（*London penetration depth*）λ較長，即$K = \lambda / \xi \gg 1$，式中K叫做蘭道、金柏參數（*Landau- Gingberg parameter*）。

有些物質在磁化曲線中的性質如圖12—180所示：外加磁場小於H_C時，$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{H} + 4\pi \overrightarrow{M} = 0$；等於$H_C$時，外加磁場開始穿透超導體，

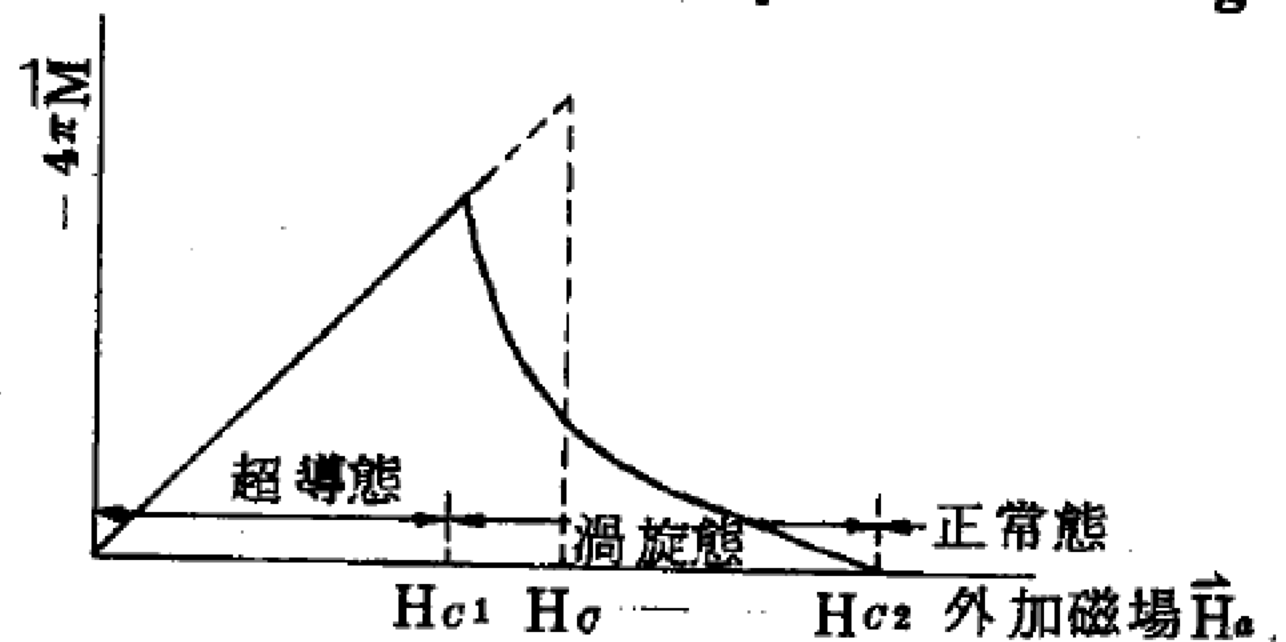


圖 12 — 180

H_{C1}小於熱學上的臨界磁場H_C，在H_{C1}與H_{C2}間導體呈混合態。H_a大於H_{C2}時，物質回到正常態$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{H}_a$。$H_{C2}$稱為上臨界磁場（*upper critical field*），其值可能高達H_C的100倍，約15萬高斯，有上

述性質的超導體稱爲硬超導體，又稱爲第二類超導體。

【硬橡膠】(Ebonite ; Hard rubber)

一種絕緣材料，是橡膠與硫的硫化混合物。以絹綢摩擦之，則發甚強之電，可製成棒形爲實驗電之用。因不能導電，故用來製造無線電器具 (特別是管座)。但它具有一系列的缺點，如耐熱性低，隨時間而變形等，因此逐漸爲其他絕緣材料所代替。

【程式】(Program)

計算機爲解答問題而執行的步驟。控制部能爲了某種操作的需要開多種路線，安排操作時間的先後順序，又能綜合電腦系統中的各種操作。這個控制部的控制方法乃是依據一連串的指令 (*instructions*)即程式，以從事實際控制工作。

【稀土元素】(Rare earth element)

在週期表中，原子序從 57 至 71 的 15 個具有相同化學性質的金屬元素，歸類爲同一族，稱爲稀土元素。鑭是這系的第一個元素，通常稱稀土族爲鑭系或鑭族。

稀土元素按原子序排列如下：

鑭(*La*)，鈰 (*Ce*)，鐠 (*Pr*)，釹 (*Nd*)，鉕 (*Pm*)，釤 (*Sm*)，銪 (*Eu*)，釓 (*Gd*)，鋱 (*Tb*)，鏑 (*Dy*)，鈥 (*Ho*)，鉺 (*Er*)，銩 (*Tm*)，鐿 (*Yb*)，鎦 (*Lu*)。

原子序爲 47 至 62 者另稱鈰副族，63 至 71 者稱釔副族，釔 (^{39}Y) 因性質與上列元素相似且共生，故亦列入稀土族中。

稀土元素在地球上的存量豐富。鈰是最豐富的，與其他自然界存在元素比較起來存量佔第二十八位，比鈹 (*Be*)、鈷 (*Co*)、鍺 (*Ge*)、鉛 (*Pb*)、錫 (*Sn*) 或鈾 (*U*) 都多。連稀土族中存量最少的銩都比鎘 (*Cd*)、金 (*Au*)、碘 (*I*)、汞 (*Hg*)、鉑 (*Pt*) 或銀 (*Ag*) 存量豐富。實際上，有 25 %的元素存量比銩還少。

稀土元素主要產於重砂礦（*monazite* 及 *bastnaesite*）中，其特性：均爲柔韌金屬；有順磁性，良導體；爲活潑之還原劑；有銀色光澤，但久置空氣中即氧化變暗；與水作用緩慢；能溶於稀酸。

稀土族元素之外層電子組態相同，僅在內層 $4f$ 軌道中電子數目不同，如下頁表所示。鑭的電子組態爲 $1s^2$，$2s^2$，$2p^6$，$3s^2$，$3p^6$，$3d^{10}$，$4s^2$，$4p^6$，$4d^{10}$，$5s^2$，$5p^6$，$5d^1$，$6s^2$，沒有 $4f$ 電子，塡上一個電子就是鈰的電子組態，以此類推，如圖 12 — 181 所示。

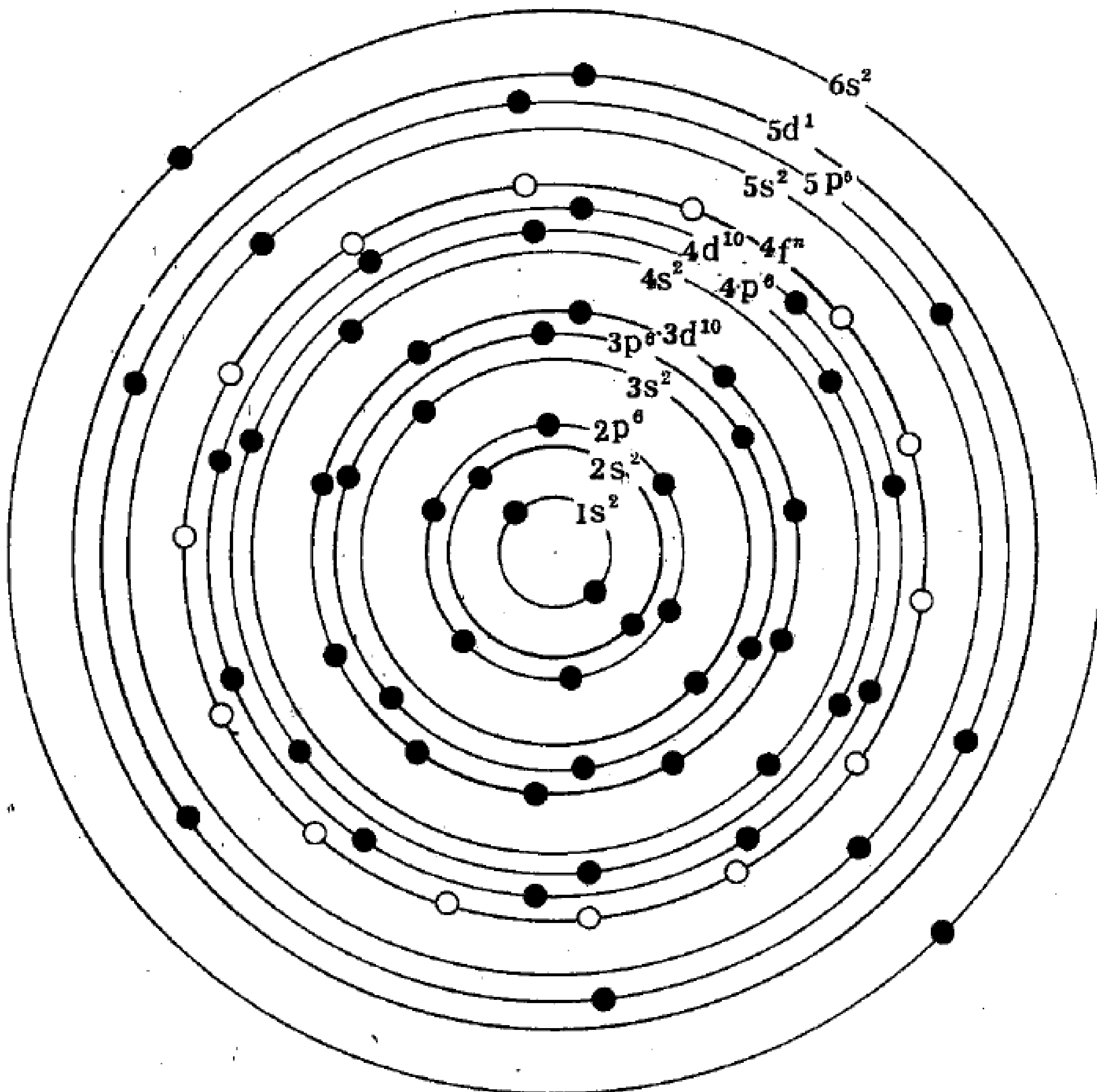


圖 12 — 181

圖中的空圓圈表示稀土元素可能有的 4f 電子數。就是說鑭元素沒有 4f 電子，鐠有二個 4f 電子等‥‥，直到鎦有 14 個 4f 電子

稀土元素之 4*f* 電子數

稀土元素	順時針方向旋轉的電子數	逆時針方向旋轉的電子數	不成對電子數	電子總數
鑭	0	0	0	0
鈰	1	0	1	1
鐠	2	0	2	2
釹	3	0	3	3
鉕	4	0	4	4
釤	5	0	5	5
銪	6	0	6	6
釓	7	0	7	7
鋱	7	1	6	8
鏑	7	2	5	9
鈥	7	3	4	10
鉺	7	4	3	11
銩	7	5	2	12
鐿	7	6	1	13
鎦	7	7	0	14

因其物理化學性質十分相近，化學上甚難將其一一分離。近年來離子交換、色層分析法發展後方能將各元素大量分離精製。

【稀有氣體】(Rare gas ; Noble gas)

供製多種螢光燈的氬氣，被用以幫助決定太空人飛行的路線；商業上用作爲廣告的霓虹燈的原料——氖，被用以增進電話設備的效率；主要作爲氣球或飛艇的氦氣，被用以代替空氣在風洞中進行各種試驗。這三種氣體和另兩種氣體氙和氪，統稱之爲稀有氣體。在氣體工業上，它們

的用途日益增多。自 1955 年以來，每隔五年，其銷售量便增加一倍。

上述氣體之所以統稱爲稀有氣體，乃因它們全部僅佔空氣總量的 1 %。反觀氮氣佔 78 %，而氧氣也佔 20 %。稀有氣體也叫做惰性氣體（ *inert gas* ），因它們不與任何元素發生化合作用。但它們卻在醫學和工業（包括火箭學）上大有用途。在醫學上，稀有氣體可能幫助醫生明白癆菌如何侵害人體。在工業上，稀有氣體可能幫助工程師應用新法產生電流，及設計更可靠的飛彈和太空船。除此五種元素外，還有氡，爲放射性元素鐳之蛻變產物，其本身具有放射性，故又名鐳射氣，惟不存在於空氣中。

我們所用的氬、氖、氙、氪幾乎全部取自空氣。在某些天然煤氣井裏，含有微量的氦氣，這是氦氣的主要來源。

氬、氖、氙、氪等四種稀有氣體，通常是出產氧氣工廠的副產品。其生產過程大略如下：在工廠的一面牆壁，有兩個好像冷氣機的吸氣機。它們在每分鐘裏，把將近 1,000立方呎的空氣吸到廠裏兩個巨大的壓氣機裏。及至空氣壓縮後，便被導入浸在液體氮（溫度在 − 34° *F*）的管子裏，以便化成液體。接著，導管把液態空氣送至三個不同的分餾室。分餾室的溫度，一個高過一個。由於溫度增高，液態空氣的三主要成分氮、氧、氬先後沸滾而化成氣體。最先沸滾的是氮氣，在 − 320° *F*；其次爲氬氣，− 302° *F*；再次爲氧氣，− 297° *F*。每一種氣體被收留在一個分餾室裏，而由一個特別的管子送走。

由分餾室出來的每種氣體，多少摻雜有其他的氣體。因此，必須再加以煉淨。這提煉程序與以上所述大致一樣，而再分餾出來的氣體有氙、氖、氪。通常氣體工廠並不注意氦氣，因爲從天然煤氣井提煉氦氣，比較從空氣中提煉更爲經濟合算。

稀有氣體有許多功用：(1)它們是十分有效率的導電體。(2)它們在通電後會發光。(3)它們不與其他氣體、液體或金屬發生化合作用。在空氣裏

稀有氣體雖然與氮氣和氧氣相混，但都不發生化學上的結合。

【稀氣體】(Dilute gas)

若所考慮的氣體系統，單位體積的分子數目相當少，以致於分子與分子之間的平均距離相當大(相對於分子的直徑而言)，因此分子與分子之間的交互作用極爲微弱，符合此條件的氣體稱爲稀氣體。若氣體更稀，則分子間的交互作用可以忽略不計，此氣體可視爲理想氣體。

【稀疏】(Rarefaction)

波的稀疏處相當於橫波的谷。

【稀薄空氣中之放電現象】(Electric discharge phenomenon of thin air)

在減壓氣體中的導電，不如在高度眞空中之顯而易見。玆先就發生於稀薄空氣中之壯麗的發光現象申述於下。如圖 12—182，利用一個圓筒形之玻管，其兩端各有一金屬片熔合於其中，側管 B 直通抽氣機。此二金屬片構成一個電容器而接於一電壓爲數仟伏特的電源上。

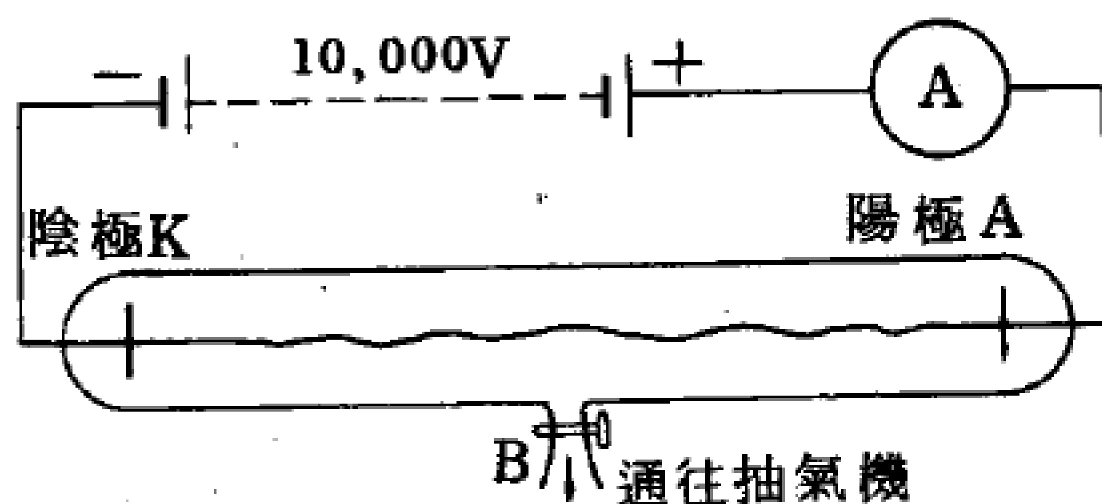


圖 12 — 182
氣壓爲 40 mmHg 時導電開始發生

在實驗開始時，並無電流通過。可見片 A 及 K 間之空氣，此時仍爲一絕緣體。但若將空氣抽至非常稀薄，使其壓力僅及 40 毫米高之水銀柱時，則導電開始發生，如圖12—183(a)，我們可見一狹長之紫光由 K 蜿蜒至 A 上。空氣漸形稀薄，該光亦逐漸變寬而成一光帶，當氣壓爲 10 毫米時，此一光帶遂成紅色(如圖(b))且與陰極稍爲分開，而直接抵及陽極，同時在陰極上有一藍色的小光點發生。

氣體壓力爲 2～4 毫米時，此光帶便充滿全管，而陰極與光帶間之間隙漸形擴大，同時陰極上之藍光點亦逐漸變寬而成光亮之藍色電輝。

氣體壓力為1毫米時（如圖(c)），光帶即失其悅目之光彩，並分成若干光層。其藍電輝亦已擴大，惟不再與陰極毗連，而與之相隔一暗區，此暗區即稱為陰極第一暗區。而該成層狀之光帶，則遠達於 A 處，致其最近陰極的一層與陰極（即陰極藍輝）間，形成另一廣大的暗區，是謂第二暗區。氣體稀薄至0.5毫米之壓力時（如圖(d)），則有一紅色之光層直接發生於陰極上，是為陰極層，此時比較暗淡之光層逐漸漸消失，藍色的陰極電輝亦漸形黯弱。最後當氣體壓力小至0.02毫米時（如圖(e)），管內所有發光現象幾全部消失，僅在玻管壁上，尤以陰極對面之部分為然，才會有綠色之光輝射出。

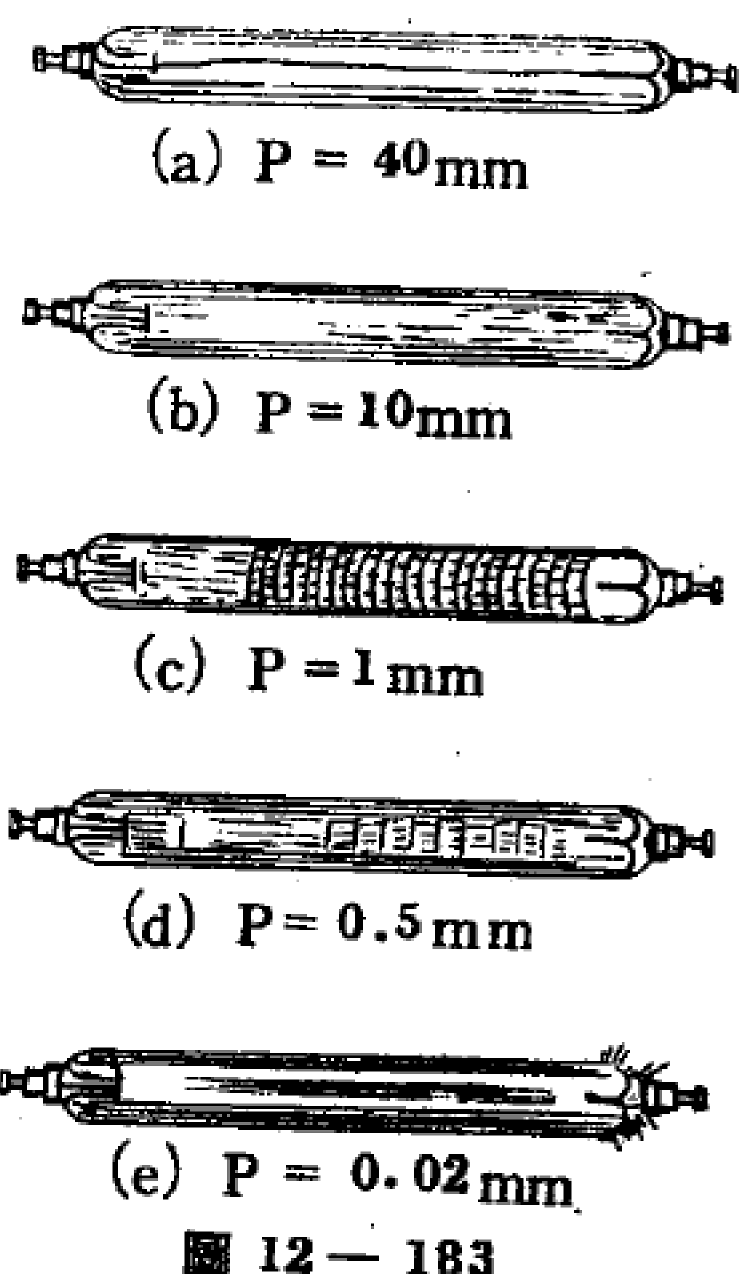


圖 12 — 183

此種在減壓氣體中之放電過程，係於 1869 年首由德國物理學家希陶夫（*Wilhelm Hittorf*）所發現。他認為玻管壁上之綠光，乃由於射線之照射所致，此等射線係由陰極射出，故稱為陰極射線。為避免與一般之陰極射線混淆起見，暫稱之為希陶夫陰極射線（*Hittorf cathode ray*）。對此種輻射之精密研究，首為德國海德堡(*Heidelberg*)之物理學者雷納（*Philipp Lenard*）於 1894 年所完成。

【筆形管】（Pencil tube）

超高頻發射機用之真空管。

【等力線】（Isodynamic line）

連水平強度相同各點之線，稱為等力線。

【等加速運動】（Uniformly accelerated motion）

加速度的大小恆保持不變的運動。這種運動的例子有拋體運動、斜面運動等。當一物體作等加速度直線運動時，它的加速度 a 為一常數。

所以 $v = v_0 + \int_{t_0}^{t} a\,dt = v_0 + a\int_{t_0}^{t} dt$

或 $v = v_0 + a(t - t_0)$ （1）

（1）式表示速度和時間的關係，v 爲末速度，v_0 爲初速度。等加速運動所經過的距離 x，由（1）式可得

$$x = x_0 + \int_{t_0}^{t} [v_0 + a(t - t_0)]\,dt$$

$$= x_0 + v_0\int_{t_0}^{t} dt + a\int_{t_0}^{t} (t - t_0)\,dt$$

或 $x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$ （2）

由（1）、（2）二式合併消去（$t - t_0$）項時，就可得到一有用的關係式 $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$

若 $t_0 = 0$ 及 $x_0 = 0$，（1）式化簡爲 $v = v_0 + at$，及（2）式化簡爲 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$。這兩個方程式的圖形如圖12—184所示。爲 v 及 x 兩者對時間的圖線。

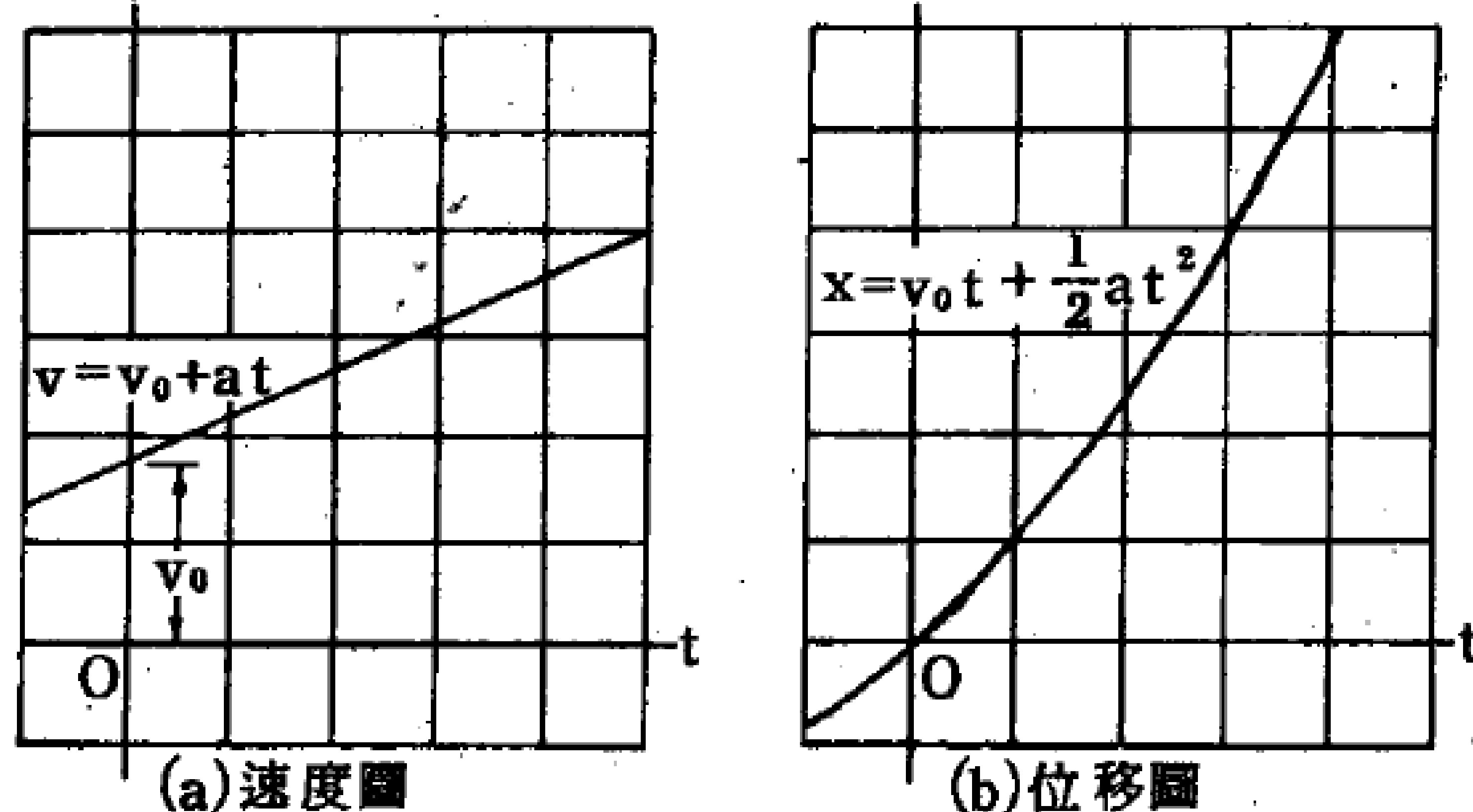


圖 12—184

在等加速度運動中速度及位移的圖形

若物體由靜止而運動，則其初速度 $v_0 = 0$，且 $t_0 = 0$，$x_0 = 0$，則根據上列三式得

$v = at$，即末速度＝加速度×時間

$x = \frac{1}{2}at^2$，即距離＝$\frac{1}{2}$（加速度×時間²）

$v^2 = 2ax$，即末速度＝$\sqrt{2 \times 加速度 \times 距離}$

【等加速轉動】（Uniformly accelerated rotation）

即等角加速度轉動。

參閱“等角加速度轉動（*Uniformly angular accelerated rotation*）”條。

【等向性】（Isotropic）

一個起源於某一點之擾動向各方向傳播之速度相同時，介質為等向性，結果形成球面波，其波前為以擾動原點為中心之同心球面，此種波之產生是像氣體中一點之壓力突然發生變化而起之波。

【等先設或然率假設】（Postulate of equal a prior probability）

若有一熱平衡（*thermal equilibrium*）的孤立物系，其總能量在E與$E+\Delta E$之間，則此物系有一統計系集，在某一時刻此物系的微觀狀態是會與系集中的某一個微觀狀態相同。因為無論與那一種微觀狀態相同，所表現出的能量皆在E與$E+\Delta E$之間；又因為此物系是在熱平衡的情況之下，因此無論在那一時刻，此物系的微觀狀態一定是系集中的某一種。然而物系內粒子的狀態並非完全不變，當時間變化時，每個粒子會經過交互作用而改變它的狀態，所以物系的微觀狀態也一直在變，但因為其總能量恆在E與$E+\Delta E$之間，所以物系的微觀狀態不斷地從系集中的一種變到另外一種，但不會變成系集以外的微觀狀態。

物系的微觀狀態既然一直在變，那麼在一段很長的時間內，它的微觀狀態有多少時間與系集中的某一種相同？用或然率（*probability*）的數學語言來說，這個問題的意思就是：在某一時刻，物系的微觀狀態為系集中的某一種的或然率為若干？在統計力學裏，所採取的假設是：在任一時刻，若一孤立物系在熱平衡，其微觀狀態與系集中的某一種微觀狀態相同的或然率為k_i，若系集中的物系有N個，則

$$k_1 = k_2 = \cdots\cdots = k_N$$

這個假設稱為等先設或然率假設，整個統計力學便是從這假設出發的。

【等光程點】(Aplanatic point)

由一點射出的光將達及另外一點，此二點謂之等光程點。

【等同溫度定律】(Law of equal temperature)

使用溫度計以決定各物體之冷熱程度時，先令溫度計與各物體次第接觸，以視其所生之效應如何。若其所生之效應相同，則稱所量之各溫度爲相等，稱爲等同溫度定律。

【等角加速度轉動】(Uniformly angular accelerated rotation)

角加速度爲定值之轉動。設 ω_0 爲起始角速度，ω 爲角速度，α 爲角加速度，θ 爲角位移，則

1. $\omega = \omega_0 + \alpha t$

2. $\theta = \bar{\omega} t = \left(\dfrac{\omega + \omega_0}{2}\right) t = \left(\dfrac{\omega_0 + \alpha t + \omega_0}{2}\right) t = \omega_0 t + \dfrac{1}{2}\alpha t^2$

3. $\because \theta = \bar{\omega} t = \left(\dfrac{\omega + \omega_0}{2}\right)\left(\dfrac{\omega - \omega_0}{\alpha}\right) = \dfrac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\alpha}$

$\therefore \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

【等角速度轉動】(Uniform angular rotation)

角速度爲定值之轉動。以公式示之如下：

1. $\theta = \omega t$，式中 ω 爲角速度，θ 爲角位移。

2. $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi n$，式中 T 爲週期，n 爲轉數。

3. 每轉一週，角位移爲 2π 弳。

【等位面】(Equipotential surface)

具有相同位函數値的位置所形成的面。面上各點的 $\nabla\phi$ (ϕ 爲位函數) 與該面在該點之法線同方向，亦即等位面垂直於力線；例如靜電場中的等位面與電力線相垂直。

靜電學中，導體的表面即爲等位面之一例。又凡由聯結電位相等

各點而得之曲面即爲等位面。等位面有下列幾種性質：

1. 等位面上各點的電位差爲零。

2. 電荷沿等位面移動時不作功。

3. 等位面必垂直於電場強度。

4. 每相鄰二等位面間之電位差恆相等。

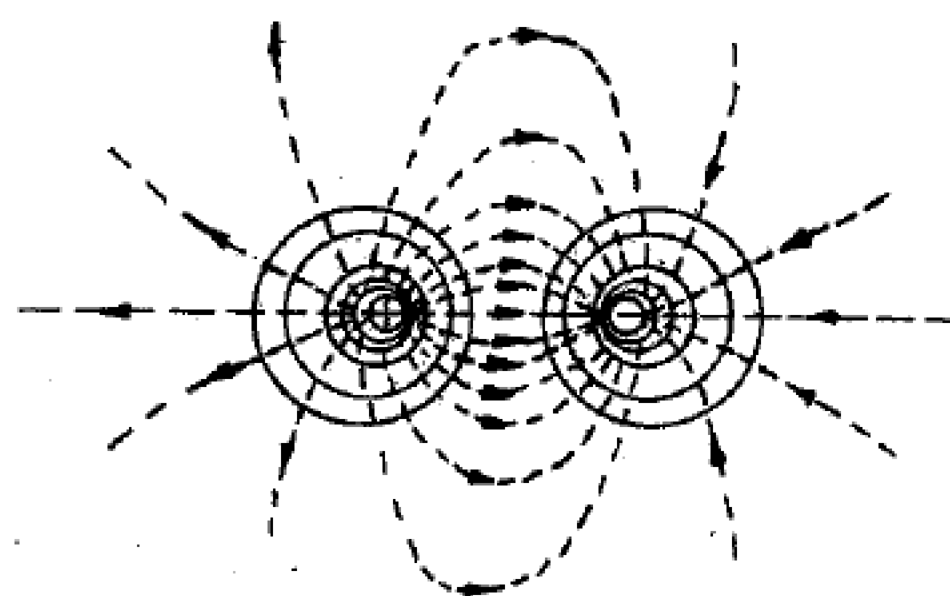


圖 12 — 185
圖中實線表等位面與紙面之相交線

5. 電場強度之大小可由電力線之密度表示；電力線之較密集處，電量較多，遠近二點間的電位差較大，故其二相鄰等位面間的距離小於電力線疏稀之處。由等位面的密疏也可逆推電場的強弱。

又在重力場內聯結重力位具有同一值之所有點，亦成一等位面。等位面均垂直於力線，此理可證明如下：

設於同一等位面上有非常接近的二點，當移動一質點從這二點中之一點至另一點時，因二點具有同一重力位，故無位能之變化，以致重力場對質點所作之功爲零。所作之功爲零，此一事實暗示著作用力垂直於位移，因此重力場之方向垂直於等位面。由上述之結論，若已知一場之力線，則能繪出其等位面；反之，知其等位面，則能繪出其力線。

【等位體】(Equipotential body)

凡物體上各點之電位均相同時，此物體稱爲等位體。譬如：

1. 帶有靜止電荷的導體，因其內部無電力場的存在，故此導體上任何兩點間的電位差恆爲零。

2. 使一導體帶電，電荷開始移動，瞬間即完成新的排列，此時導體內部的電場爲零，而各處電位均相等。

3. 導體帶電，電荷靜止時，其所有的電力線均與表面成直角。

【等面積定律】(Law of equal areas)

等面積定律爲刻卜勒定律中的第二定律。又稱面積定律。

參閱“刻卜勒定律（*Kepler's law*）”條。

【等值單擺】（Equivalent simple pendulum）

與合成複擺有相同週期之單擺，稱爲複擺之等值單擺。其擺之長，等於複擺之懸點與振動中心二點間之距離。

【等效天線】（Equivalent antenna）

總阻抗等於天線輸入電阻的有效電阻或電阻、電感及電容的組合體。在進行各種不同的測量時，等效天線連接於天線饋電線、接收機輸入端或發射機輸出端以代替天線。因爲等效天線的電阻與天線輸入電阻相等，所以用等效天線來代替天線就不會改變與天線相連儀器的工作狀態。

【等效面電流密度】（Equivalent surface current density）

如果一塊物質內所包含的許多原子磁矩都指向同一方向，則稱這塊物質是均匀磁化的。這時這塊物質的磁化強度向量$\overrightarrow{M}$，剛好就等於單位體積內所含的磁矩的數目和每一個磁偶極的磁矩μ的乘積。我們現在要研究由這些磁偶極在物質內及物質外所產生的磁場，如圖 12 — 186 (*a*)所示爲厚

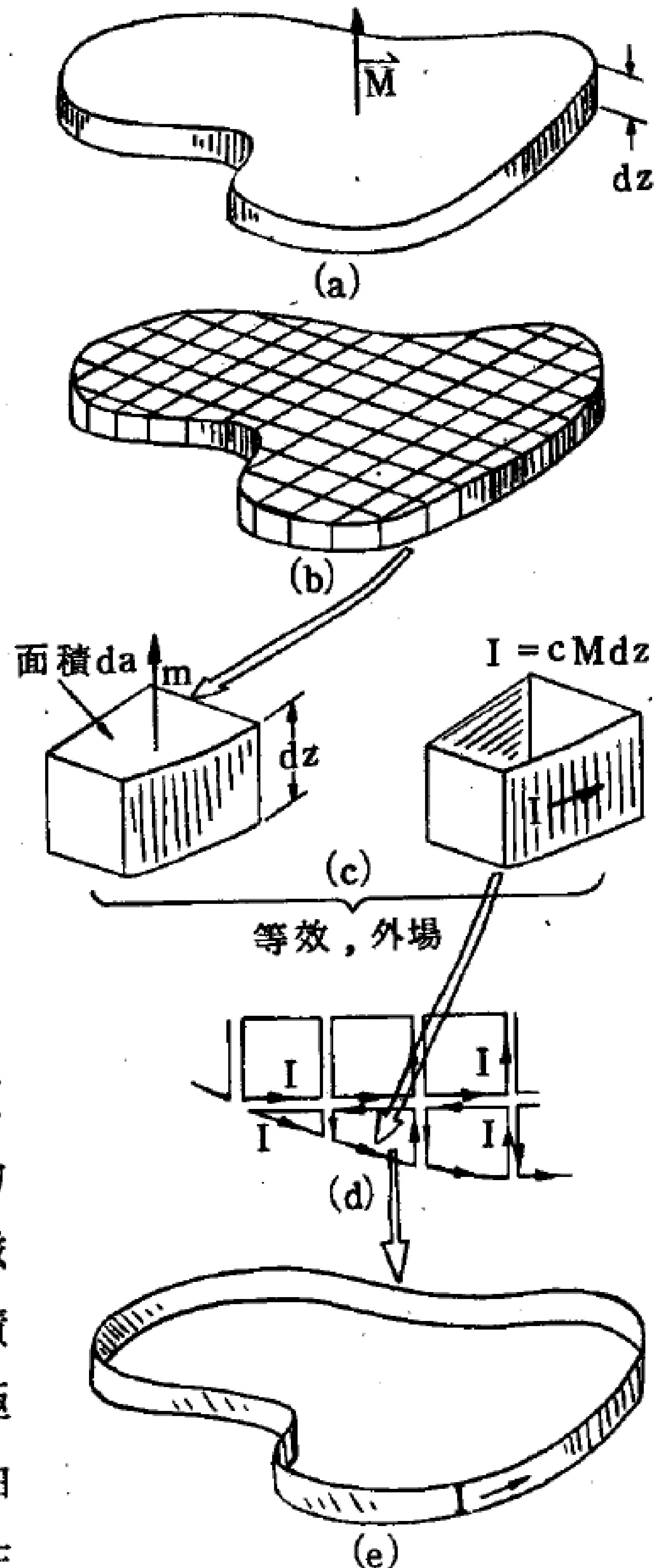


圖 12 — 186

度 dz 的磁化薄片，磁化強度$\vec{M}$垂直於此薄片。將這一薄片的磁化物質分成很多小塊，如圖(b)所示，設其中一小塊的頂面積爲 da，則它的總磁矩爲$Mdadz$，如圖(c)的左圖所示。這一小塊磁化物在遠方（即距離比這塊磁化物的尺寸來得大時）各點所產生的磁場，應當和任何磁矩相同的磁偶極所產生的磁場一樣。將一寬度爲 dz，電流爲 $I = cMdz$ 的帶狀導線彎成和這一小塊磁化物的周界相同的形狀，則這一環線就形成一磁偶極，其磁矩爲

$$\mu = \frac{I}{c} \times \text{面積} = \frac{cMdz}{c}\ da = Mdadz$$

結果與剛才那一小塊磁化物的磁矩相同，如圖(c)所示。

可用這種帶有 $I = cMdz$ 電流的環線代替每一小塊磁化物，如圖(d)所示。因爲每一環線的電流都相同，並且在每一內面邊界上的電流的方向又相反，故除了外面邊界上的電流外，內面的電流都互相抵銷，所以這組小環線相當於圖(e)所示的帶狀環線，其形狀和磁化薄片的周界相同，而所帶的電流爲 $cMdz$。因爲我們可將這一磁化薄片分成許多非常小的塊狀（但必須比分子的大小來得大，以便每一小塊內的磁化強度都大致相同），所以在這種極限的情況下，這一磁化薄片在外面任何一點所產生的磁場就和此帶狀環線所產生的完全相同。

故圖(a)所示大塊的均勻磁化物質，在外面所產生的磁場也就可以曉得了。我們可設想這一大塊磁化物是由很多薄片組成的，所以整塊均勻磁化物在外面各點所產生的磁場和圖(b)所示的帶狀環線所產生的完全相同。因爲寬度爲 dz 的環線上的電流爲 $cMdz$，故這一較寬的帶狀環線上的面電流密度爲

$$j = cM$$

上式即爲均勻磁化物質的等效面電流密度。爲區別起見，如圖 12—187 用$\vec{B'}$表示等效電流所產生的磁場，而用$\vec{B}$表示磁化物質所產生的磁場。將上面的敍述綜合結論如下：一塊磁化物質在外面任何一點所建立的

磁場$\vec{B}$和等效電流在該點所建立的磁場$\vec{B}'$完全相同，即使觀察點很接近（但比分子的大小來得大的情形）磁化物質的表面，這一結論仍可成立。

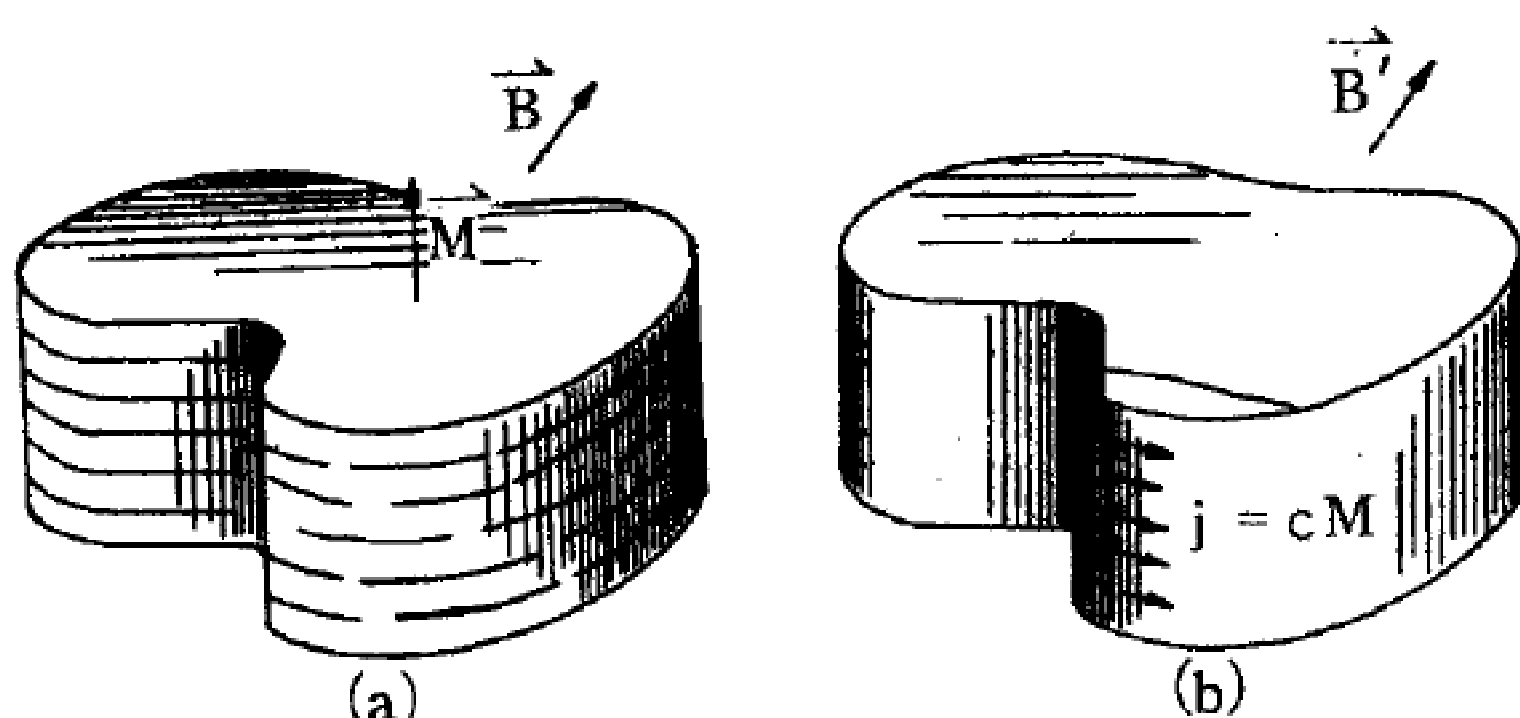


圖 12 — 187

【等效信號區】（ Equisignal zone ）

收聽兩方信號強度相等處。

【等效柵壓】（ Equivalent grid voltage ）

三極管之柵壓加屏壓與放大因數之商。

【等效原理】（ Principle of equivalence ）

考究二參考系：(1)一爲不加速（慣性）參考系 S，其中有一均勻重力場，(2)對於一慣性系爲等加速之參考系 S'，但其中無重力場。愛因斯坦在其廣義相對論中證明此二參考系在物理上完全相等。即在相同條件下在此二參考系內所作之實驗，應得相同之結果，此謂等效原理。

設一太空船靜止於一慣性參考系 S 中，有一均勻重力場，如在地球表面之情形。在太空船內之物體，如蘋果釋放後將在重力場內以等加速度 g 落下；靜止之物體，如坐於地板上之太空人或連於天花板之彈簧秤上的包裹，將承受地板或彈簧所施之力與其重量相反。

現設發動火箭將太空船駛向外太空區域，在此區域內無重力場。今以太空船爲新參考系 S'，設太空船相對於慣性參考系 S 的加速度爲 $a = g$；即太空船離地球向不感受地球重力場（或任何其他重力場）之區域加速。太空船內之情形與靜止於地面之太空船內的情形相似。若太空人在船內釋放蘋果，蘋果將以相對於太空船之加速度 g 向下加速。事實上

，因所有不受任何力之物體以等速度相對於慣性系 S 運動，所有此種物體以相同加速度 g 對太空船 S' 落下。再者，對太空船爲靜止之物體，如坐於地板上之太空人或連於天花板之彈簧秤上包裹所受之力，與太空船靜止於 S 之重力場內時平衡其重量之力不能分別。

若太空人不知火箭正自 S 加速其太空船，他將斷定他在重力場內——此場的拉引使在 S' 內落下蘋果加速，及此場之拉引需以平衡力加於包裹（彈簧之張力）和太空人（地板的正向力），以使彼等靜止於 S' 內。太空人僅靠本身參考系的觀察無法得知下列二種情況之差別：一種情況爲太空船在無重力場區域內相對於一慣性系加速，另一種情況爲太空船在有均勻重力場之慣性系內未加速。此二種情況完全相等。

愛因斯坦由等效原理指出：無法討論參考系的絕對加速度，只能討論相對加速度，正如由狹義相對論可知無法討論參考系的絕對速度，只能討論相對速度。慣性質量和重力質量相等亦由等效原理而來。因所有物體不受任何力時將對一慣性參考系以等速度運動，無論其慣性質量爲何，此等物體對加速參考系應有相同之加速度。因此，由 S 和 S' 之等效原理可知，在均勻重力場中所有物體應以相同之加速度落下。

由以上討論可知，均勻重力場可模擬爲“加速度場”。將參考系變換至沿場的方向加速，加速度的大小等於場所生加速度的大小，則均勻重力場“變換掉”。原受重力場作用之質點，現在新參考系中爲一自由質點。例如太空人在人造地球衛星內放下蘋果時，相對衛星而言蘋果不落下，太空人由於所受重力及抗重力之平衡而感覺無重量。但一般而言，如地球之重力場並非在所有空間爲均勻者，僅變換爲相對場源爲加速之單獨參考系，無法取代此重力場。欲模擬全部重力場，需在空間中每點有不同之加速參考系。

由等效原理可以推出許多重要的結論，譬如物體以速率 v 運動時，它的重量

$$mg = \frac{m_0 g}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

式中m_0 爲靜止時質量。又如火箭以 4 倍於重力加速度之加速度上升時，火箭內一切物體的重量爲平常重量的5 倍。

一個好的物理理論不單要能解釋已知的事實，還要能作新的預測，然後再由實驗來證實，愛因斯坦的關於加速與重力完全相同的原理就是這樣的一個理論。假如二位科學家要在太空艙裏作一些光學實驗，光有一個基本的特性，它沿直線傳播，因此假如將手電筒的光照在牆上的話，照亮的地點一定就在光源的正對面。假如在加速的太空船裏再作這樣的實驗，情況就稍有不同了。如圖 12 — 188 所示，若太空船不在加速，從左面光源射出的一束光會筆直的透過三塊半透明的螢光玻璃板（一號、二號、三號）而產生三個亮點S_1、S_2 及S_3。但假如太空船在加速中，亮點就不再在一條直線上了。光從光源到一號板，從一號板到二號板，從二號板到三號板所花的時間都是相同的。但由於太空船的加速運動，螢光玻璃板在這些時間間隔內的位移卻成 $1^2 = 1$，$2^2 = 4$，$3^2 = 9$的比例。因此顯示光的軌跡的這三個點不再在一條直線上，而在一條拋物線上了。太空船裏的

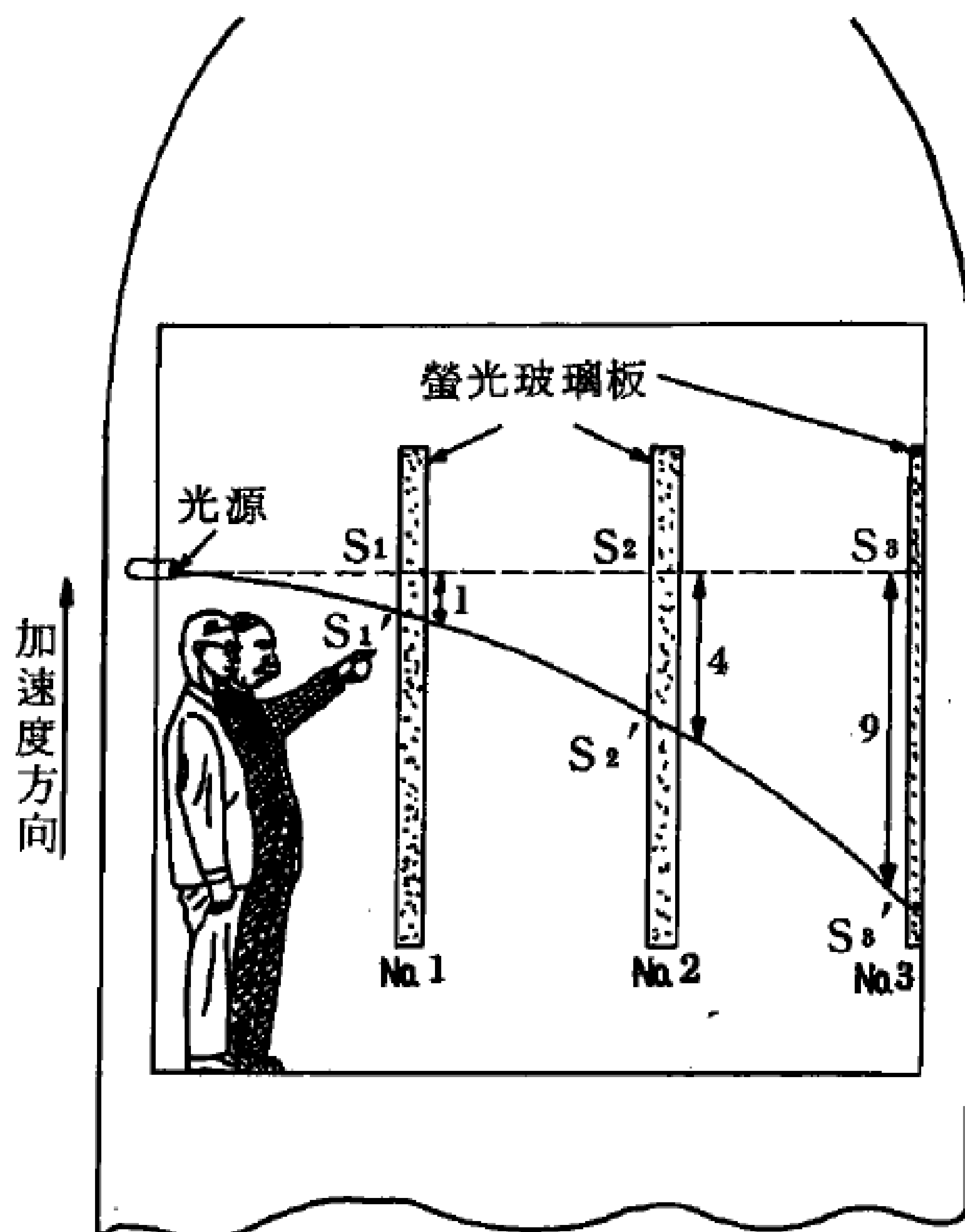


圖 12 — 188

觀察者會有這樣的印象：因爲太空船的加速所產生的力將光線曲折了。假若我們上面所討論的，物體在加速體系中的運動與在重力場中的運動不僅是類似，而且是完全相同時，我們應該可以推斷光經過任何重力場的時候，會沿作用力的方向曲折。

1919 年這個推論接受了第一次考驗，當時一隊英國科學家出發到非洲去觀察日全蝕，觀察的結果證實了從遙遠的星球處射出的光線在經過太陽巨大的質量旁邊時被彎曲了，這個情況可以從圖 12 — 189 上看出來，假如太陽不在這一部分的天空中，那麽星球的光會沿直線傳播（圖中的虛線），在地球表面 O 處的觀察者測得遙遠處二顆星球間的夾角是 θ。但假如這二顆星球的光通過太陽二側的話，它們會朝太陽的方向彎曲（圖中的實線），結果所測得的夾角 θ' 會較 θ 大。這樣太陽的重力場好像一面透鏡，將遠處二顆星球間的距離放大。這種實驗只有在日全蝕時才能做到，否則的話太陽的光亮會將這二顆星球蓋住，1919 年的日蝕及以後許多次的觀察都證實了光受太陽重力場的彎曲的現象。

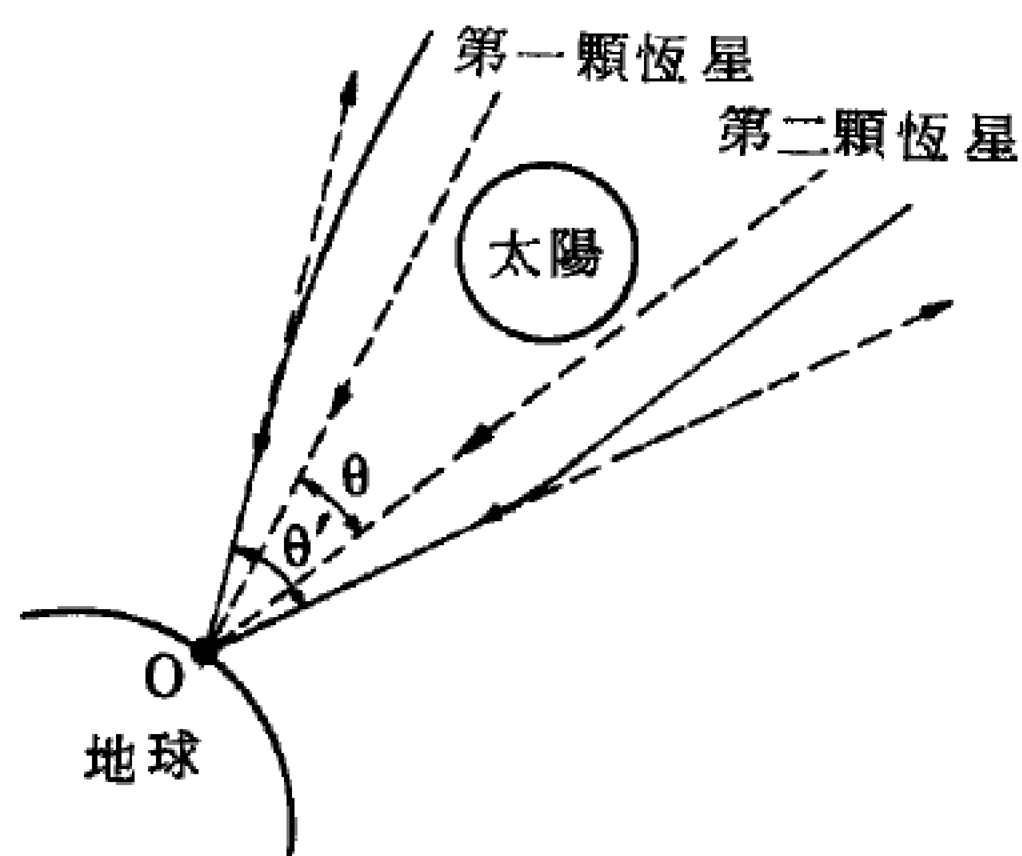


圖 12 — 189　光經太陽時的曲折

雖然光經過太陽鄰近時的彎曲，可能是愛因斯坦的重力場理論的最大勝利，他的這個觀念也可以預測許多別的結果，這些結果都可以由天文觀測證實。其中有一個是關於太陽系的行星運動，根據牛頓的重力定律，行星是在一橢圓軌道上運行，太陽位在這個橢圓的一個焦點上。它的橢圓主軸永遠固定在空間不動。然而愛因斯坦的理論預測說：橢圓的主軸也繞著太陽慢慢運行，不過它運行的方向剛好和行星運行的方向相反。如圖12 —190所示，離太陽較遠的行星的軌道擺動（*precession*）

是非常小的，但離太陽較近處的行星的軌道攜動是可以量到的。離太陽最近的行星是水星，它有一個非常的離心軌道，愛因斯坦算出這個軌道的主軸每100年攜動4.29 分的角度。這個預測用不著爲了求證而作許多特別的天文觀察，因爲天文學上早就測得了這個結果，而幾十年來一直把天文學家搞得焦頭爛額。爲了解釋水星軌道的攜動角度是每100年4.3分的現象，他們曾假設這是由於太陽系中其他的行星的引力引起的干擾所致，但推算的結果卻遠較這個數字爲小。

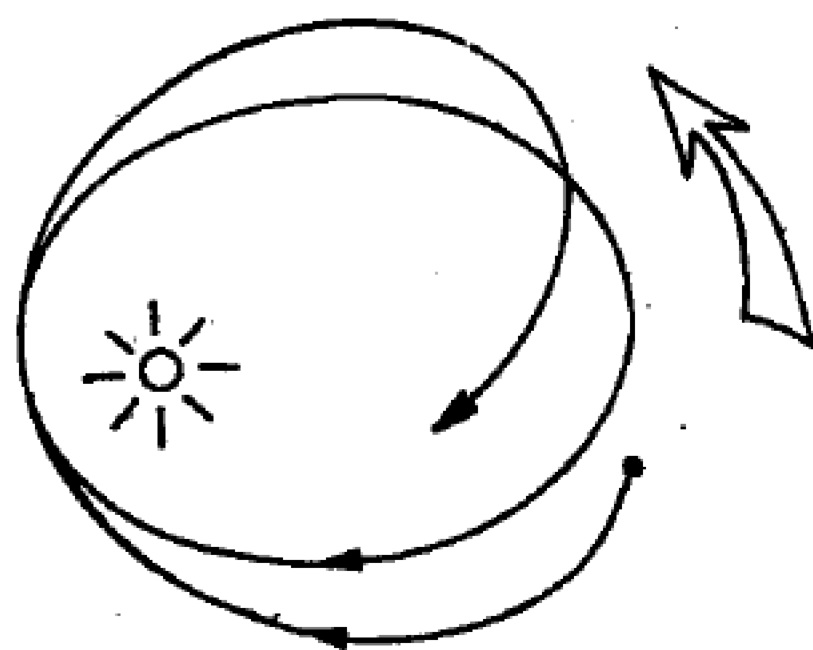


圖 12 — 190　行星的軌道攜動

廣義相對論的另一個預測是，所有物理過程會隨重力而變緩。由於月球表面的重力較地球表面爲小，故月球上的計時器較地球上的一個完全相同的天文計時器走得較快。反過來，太陽表面由於重力較大，故它上面的計時器走得最慢。當然我們不可能將一個人造的計時器放在太陽表面上，但很幸運的，那裏已有了一種天然計時器：以一定的頻率放出光波的原子是最精確的計時器。爲了要看看太陽表面與地球表面時間的流率是否相同，我們只要比較一下二個相同的原子在太陽上和在地球上放出的光波頻率是否相同就可以了。由不同的元素所放出的清晰的光譜，是研究這種現象的最理想的方法。而實際上比較太陽光及其他的星光光譜的振動頻率發現，前者的振動週期增大（頻率減低）了大約2×10^{-4}%，這個結果和愛因斯坦的預測完全相符。

太陽光譜中振動週期的改變，水星軌道運動的改變，以及光線經過太陽重力場時方向的改變，都是一些很小的數字，然而所有這許多小小的改變完全能由純理論推測，然後用天文觀察加以證實這件事實，毫無疑問的代表了愛因斯坦重力理論的成功。

【等效屏壓】（Equivalent plate voltage）

三極管之屏壓加放大因數與柵壓之積。

【等效電阻】(Equivalent resistance)

代表實際電路的等效電路中的有效電阻。等效電阻這一概念，舉例說，如果電容爲 C 的電容器內存在有電介質漏洩，則最自然的是在電容 C 上並聯一個等於電介質漏阻的電阻 R 來表示這個電容器的等效電路。如果電介質內存在有電介質損失，則最自然的是用串聯有電阻 r 的電容 C 來表示等效電路，所用電阻內的損失等於電介質中的損失。根據已知 R 值計算了 r 或根據已知 r 值計算了 R（此處 R 與 r 之間的比例關係隨著電路中的電流頻率而變化），就可以用並聯電路代替串聯電路，或用串聯電路代替並聯電路。假如電容器既具有電介質漏洩，也具有電介質損失，則上述電路中的任一個都可用作爲等效電路。

【等效電流】(Equivalent current)

1. 穩定電流周圍之磁場

由安培環路定律知導線中之電流 I 與其周圍所產生之磁場強度的關係爲

$$2\pi rB = 2\pi KI$$

2. 不穩定電流周圍之磁場

電流發生變化時，使安培環場積定律保持有效，總電流 I 等於眞實電流 I 與等效電流 $\frac{1}{4\pi k}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t}$ 之和。

$$2\pi rB = 2\pi K\left(I + \frac{1}{4\pi k}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t}\right)$$

$$K = 2\times10^{-7}\ nt/amp^2$$

$$k = 2.306\times10^{-28}\ nt\cdot m^2/(elem.ch.)^2$$

等效電流所產生的環場積爲

$$2\pi K\left(\frac{1}{4\pi k}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t}\right) = \frac{1}{9\times10^{16}\ m^2/sec^2}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t}$$

式中Φ_E 爲電通量，其與電量之關係爲：

1. 帶電量Q之小球；距其r處（r>小球之半徑）的電場強度

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

2. 小球之總電通量$\Phi_E = EA = (k\frac{Q}{r^2})(4\pi r^2) = 4\pi kQ$。

3. 當小球於Δt 時間內輸入ΔQ電量則電通量度爲$\Delta\Phi_E = 4\pi k\Delta Q$，故其變化率爲 $\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t} = 4\pi k\frac{\Delta Q}{\Delta t}$。

4. $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1}{4\pi k}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t}$，此值即等於任一瞬間對小球充電電流之値，當將平行金屬板接入長直導線的問題中，可用等效電流來修正磁場的環場積定律，即

$$2\pi rB = 2\pi K(I + \frac{\Delta Q}{\Delta t}) = 2\pi K(I + \frac{1}{4\pi k}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t})$$

5. 若應用於無電荷堆積之情況（如導線周圍），則$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 0$。若應用於有電荷堆積而無電流（如充電期間兩金屬板），則$I = 0$。

由$\vec{B}$之環場積得 $2\pi rB = \frac{1}{9\times10^{16}m^2/sec^2}\frac{\Delta\Phi_E}{\Delta t}$，只要電流一定，使$\vec{B}$的環場積永遠保持不變，是有可能的。$\vec{E}$之環場積得 $2\pi rE = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$，欲使$\vec{E}$的環場積亦永遠保持不變，是不可能的，因欲 $2\pi rE$ 一定，則 $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ 爲定值，此爲不可能。

【等效電容】（Equivalent capacitance）

電容器經過組合後所產生的總電容叫等效電容。如圖 12 —191 (a) 爲n個電容器串聯在一起的情形，這時每一個電容器所帶之電荷（正或負）相同，設V_1，V_2，……V_n 爲每一電容器的電位差；C_1，C_2，……C_n 爲其電容，因此，$V_1 = Q/C_1$，$V_2 = Q/C_2$，……$V_n = Q/C_n$。所

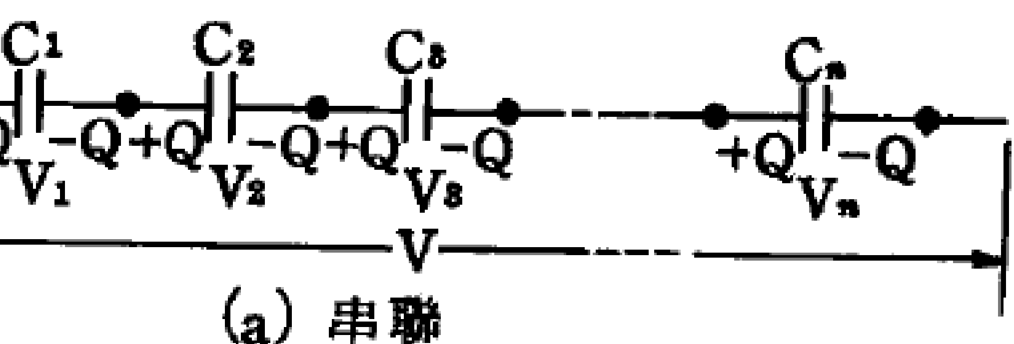
以總電位差為

$$V = V_1 + V_2 + \cdots\cdots + V_n = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots\cdots + \frac{1}{C_n}\right)$$

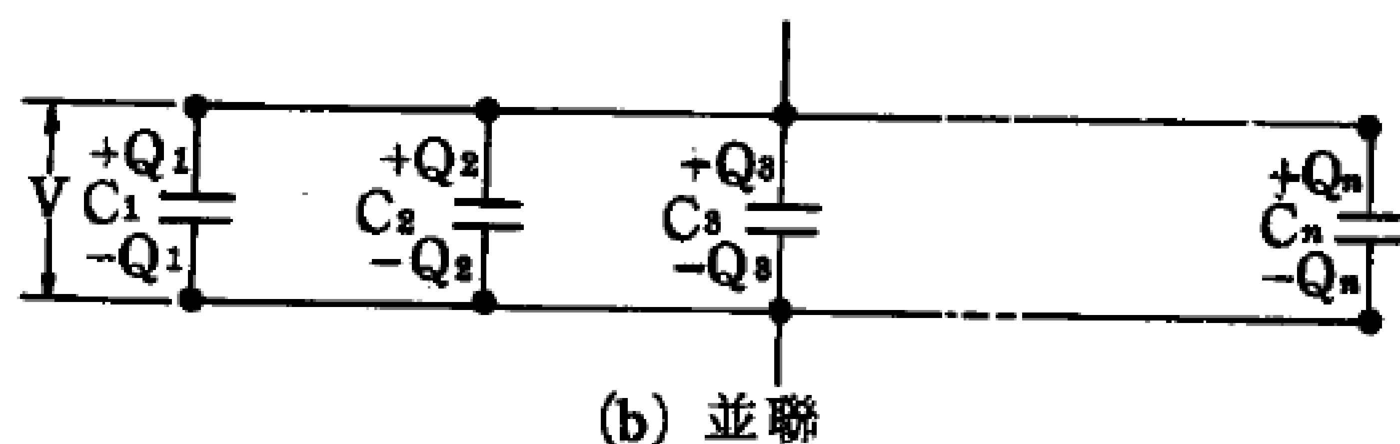
故電容器串聯時的等效電容為

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots\cdots + \frac{1}{C_n}$$

圖 12—191 (*b*)為 *n* 個電容器並聯在一起的情形。這時每一電容的電位差都相等，若每一電容器的電荷為 Q_1，Q_2，…Q_n，則 $Q_1 = C_1V$，$Q_2 = C_2V$，……$Q_n = C_nV$。因此此系統之總電荷為



(a) 串聯



(b) 並聯

圖 12—191

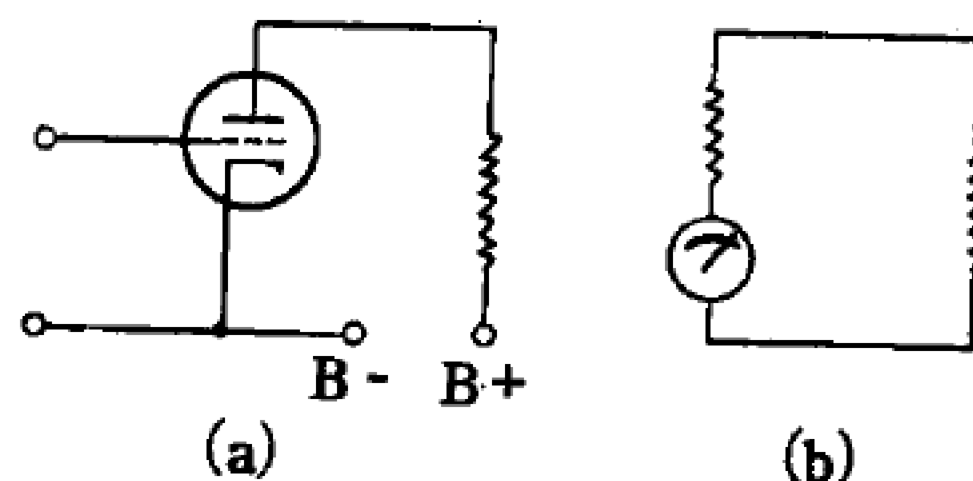
$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots\cdots + Q_n = (C_1 + C_2 + \cdots\cdots + C_n)V$$

故電容器並聯時之等效電容 C 為

$$C = C_1 + C_2 + \cdots\cdots + C_n$$

【等效電路】(Equivalent circuit)

這樣一種電路，其中的電流電壓比例關係和它代表的實際電路一樣。所以實際電路的計算可用等效電路的計算來代替，選擇等效電路時，總是使這些計算比對實際電路的計算更為簡單，故又名化簡電路，如圖 12—192 (*b*)。



(a) (b)

圖 12—192

【等效網絡】(Equivalent network)

網絡問題的計算，隨著支與節的增加而更形複雜，不過就被動網絡而言，如果網絡的端點（ *terminal* ）數目不多，則可以將整個網絡代以

較簡單的網絡，而不影響端點的電壓及流入端點的電流。如圖 12—193 所示，爲具有四個端點的網絡，此網絡可被 T 網絡或 π 網絡取代。

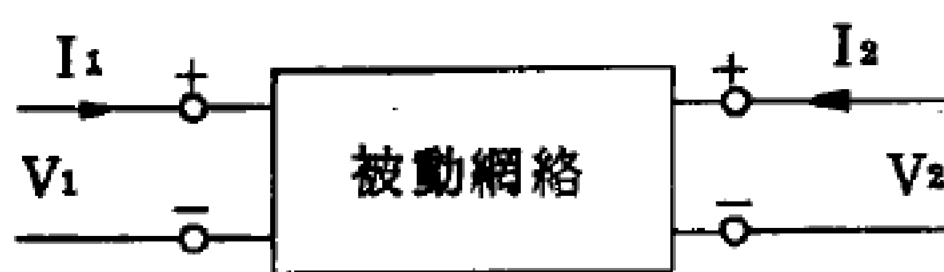


圖 12 — 193
四端點的被動網絡

設圖 12—193 的被動網絡包括 n 個網絡，而電壓源只作用在輸入及輸出的端點，分別以 1 及 2 表示，則根據網絡電流法，這 n 個方程式可寫爲

$$Z_{11}I_1+Z_{12}I_2+\cdots\cdots+Z_{1n}I_n=V_1$$

$$Z_{21}I_1+Z_{22}I_2+\cdots\cdots+Z_{2n}I_n=V_2$$

$$Z_{31}I_1+Z_{32}I_2+\cdots\cdots+Z_{3n}I_n=0$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$Z_{n1}I_1+Z_{n2}I_2+\cdots\cdots+Z_{nn}I_n=0$$

因此輸入及輸出電流爲

$$I_1=\frac{\Delta_{11}}{\Delta_Z}V_1+\frac{\Delta_{21}}{\Delta_Z}V_2$$

$$I_2=\frac{\Delta_{21}}{\Delta_Z}V_1+\frac{\Delta_{22}}{\Delta_Z}V_2$$

Δ_Z 是阻抗的行列式，而 Δ_{ij} 是它第 (ij) 項的餘因式。V_1，V_2 雖是此無源網絡外端的電壓，但它們不必要就是眞正的電壓源，也許它們只是跨過網絡的某段阻抗的電位降而已，譬如說輸出端鈕外的阻抗是 Z，則其電位降 $V_2=-ZI_2$。

此結果似乎代表兩個獨立節電位差的網絡，亦即 π - 網絡，如圖12—194 (a)所示，此 π - 網絡的節方程式爲

$$(Y_A+Y_B)V_1-Y_BV_2=I_1$$

$$-Y_BV_1+(Y_B+Y_C)V_2=I_2$$

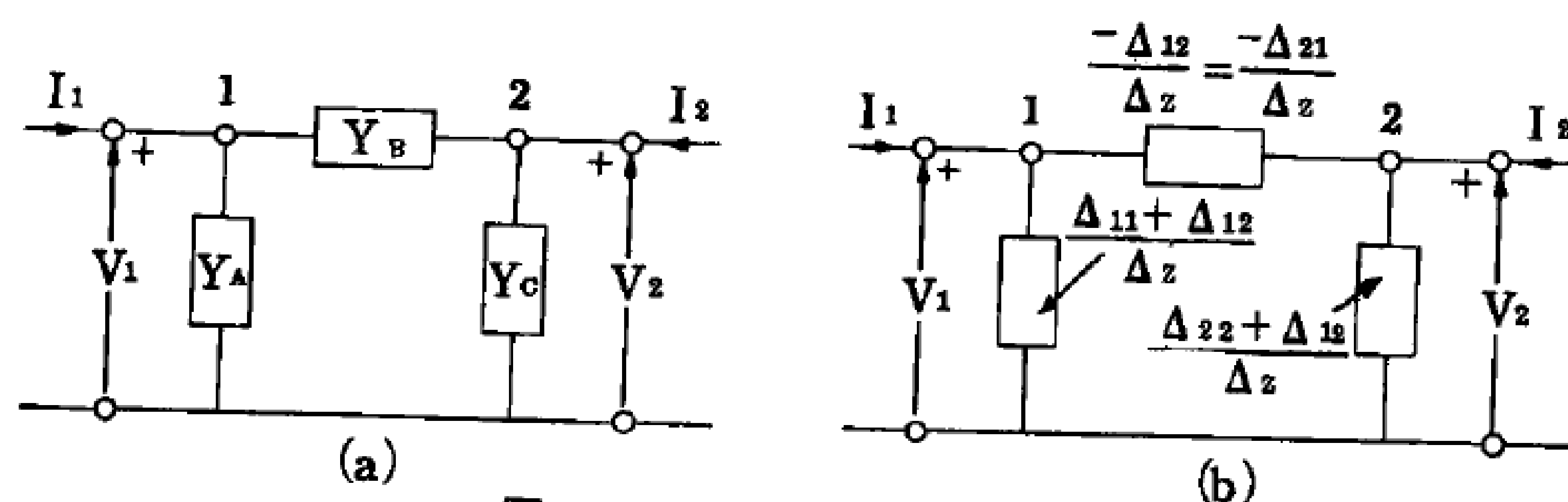


圖 12 — 194　等效π-網絡

其對應的關係爲

$$Y_A + Y_B = \frac{\Delta_{11}}{\Delta_Z} \qquad Y_B = -\frac{\Delta_{21}}{\Delta_Z} = -\frac{\Delta_{12}}{\Delta_Z} \qquad Y_B + Y_C = \frac{\Delta_{22}}{\Delta_Z}$$

即 $$Y_A = \frac{\Delta_{11}+\Delta_{12}}{\Delta_Z} \qquad Y_B = -\frac{\Delta_{12}}{\Delta_Z} \qquad Y_C = \frac{\Delta_{21}+\Delta_{22}}{\Delta_Z}$$

這就是說：如果以 Y_A，Y_B 及 Y_C 構成 π - 網絡而代替了原來的被動網絡，則輸入及輸出的電壓關係及電流關係都不受影響。

圖 12—193 的被動網絡也可以節電位差方程式表示，設總共有 n 個節電位差，其中第一個及第二個分別爲輸入及輸出電壓，則節電位差方程式爲

$$\begin{aligned}
Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \cdots\cdots + Y_{1n}V_n &= I_1 \\
Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + \cdots\cdots + Y_{2n}V_n &= I_2 \\
Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + \cdots\cdots + Y_{3n}V_n &= 0 \\
\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad & \vdots \\
Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + \cdots\cdots + Y_{nn}V_n &= 0
\end{aligned}$$

因此輸入及輸出端點的電位差分別是

$$\left.\begin{aligned}
V_1 &= \frac{\Delta_{11}}{\Delta_Y} I_1 + \frac{\Delta_{21}}{\Delta_Y} I_2 \\
V_2 &= \frac{\Delta_{21}}{\Delta_Y} I_1 + \frac{\Delta_{22}}{\Delta_Y} I_2
\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Δ_Y 是導納的行列式，而Δ_{ij} 是其 (ij) 項的餘因式。在此 I_1及 I_2 雖然是此被動網絡的外電流源，不過也不需要是眞正的電流源，譬如說在輸出端點的外界如果接Y的導納，則 $I_2 = -YV_2$ 。

(1) 式代表兩支電流方程式，亦卽兩環路的網絡，而構成T - 形網絡，如圖 12—195 所示。則

$$\left.\begin{aligned}(Z_1+Z_3)I_1+Z_3I_2&=V_1\\ Z_3I_1+(Z_2+Z_3)I_2&=V_2\end{aligned}\right\}\qquad(2)$$

(注意互阻抗的符號) 比較 (1)、(2) 式知，此T - 網絡如要與圖 12—193 的網絡等效，則必須遵從下列條件

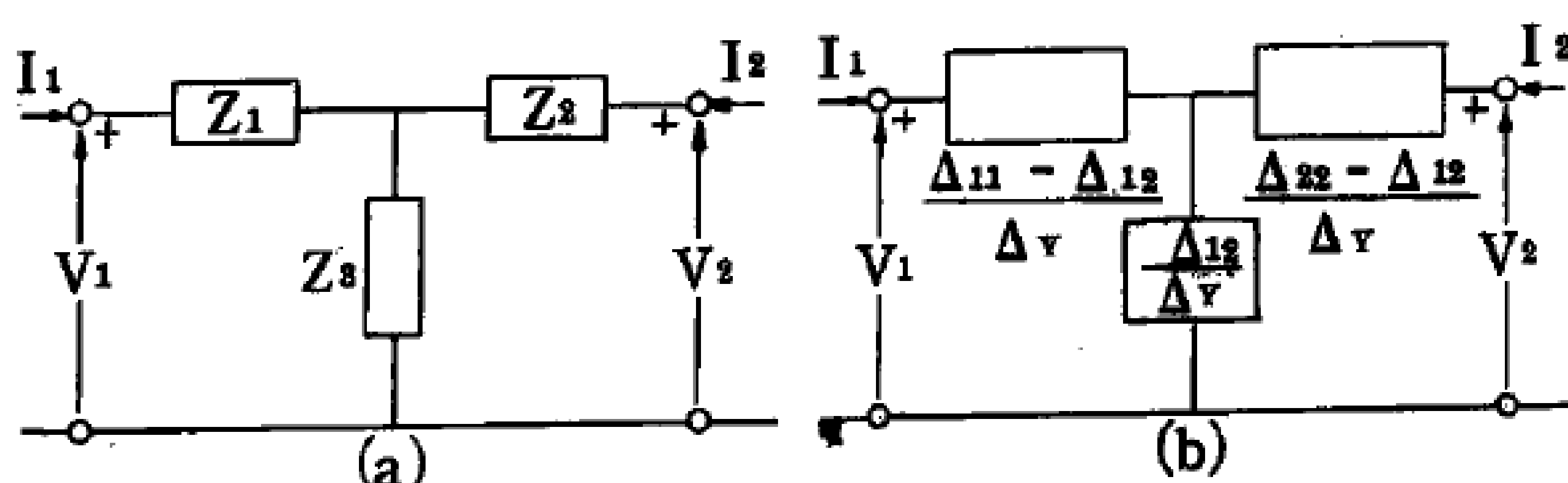


圖 12—195　等效T - 網絡

$$\left.\begin{aligned}Z_1+Z_3&=\frac{\Delta_{21}}{\Delta_Y}\\ Z_3&=\frac{\Delta_{21}}{\Delta_Y}=\frac{\Delta_{12}}{\Delta_Y}\\ Z_2+Z_3&=\frac{\Delta_{22}}{\Delta_Y}\end{aligned}\right\}\qquad(3)$$

(3) 式聯立解之，則各等效阻抗應該等於

$$Z_1=\frac{\Delta_{11}-\Delta_{21}}{\Delta_Y}=\frac{\Delta_{11}-\Delta_{12}}{\Delta_Y}$$

$$Z_2=\frac{\Delta_{22}-\Delta_{12}}{\Delta_Y}=\frac{\Delta_{22}-\Delta_{21}}{\Delta_Y}$$

$$Z_3=\frac{\Delta_{12}}{\Delta_Y}=\frac{\Delta_{21}}{\Delta_Y}$$

此結論指出，如果以Z_1，Z_2 及 Z_3 做成T - 網絡，則原來的被動網絡，其

輸入及輸出的電流關係及電壓關係不變。

由此可見任何四端點的被動網絡，都能夠被轉變爲 π - 網絡或 T - 網絡式。換言之，任何被動的 T - 網絡及 π - 網絡，彼此間也可轉變。

【等時性】(Isochronism)

擺的振幅不甚大時，其週期與擺的質量和振幅無關，而與擺長的平方根成正比，與其所在處之重力加速度之平方根成反比例，是爲擺的等時性。設擺長爲 l ，則週期：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

由上式可以測得各地的 g 值，又利用擺的等時性，可以節制時鐘的快慢。

【等張比容】(Parachor)

$$[P] = \frac{M\sqrt[4]{\nu}}{\rho_l - \rho_g}$$

其中〔 P 〕爲等張比容，M 爲分子量，ν 是物質的表面張力，ρ_l 與 ρ_g 是等溫下的液體與蒸氣密度。

【等速直線運動】(Uniform rectilinear motion)

又叫等速度運動。方向與快慢均不變的運動，即指速度一定的運動。物體在一直線上以一定的速度運動，就是屬於這一種。在無摩擦的冰上滾石塊，在直線上以等速前進的火車，都爲等速直線運動。當一物體在作等速直線運動時，它的速度爲一常數。所以

$$a = dv/dt = 0$$

即在等速直線運動中無加速度。又由下式

$$\int_{x_0}^{x} dx = x - x_0$$

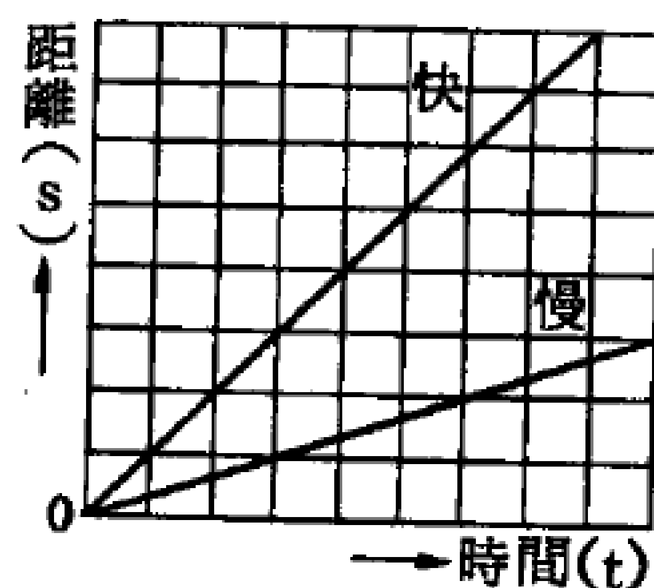


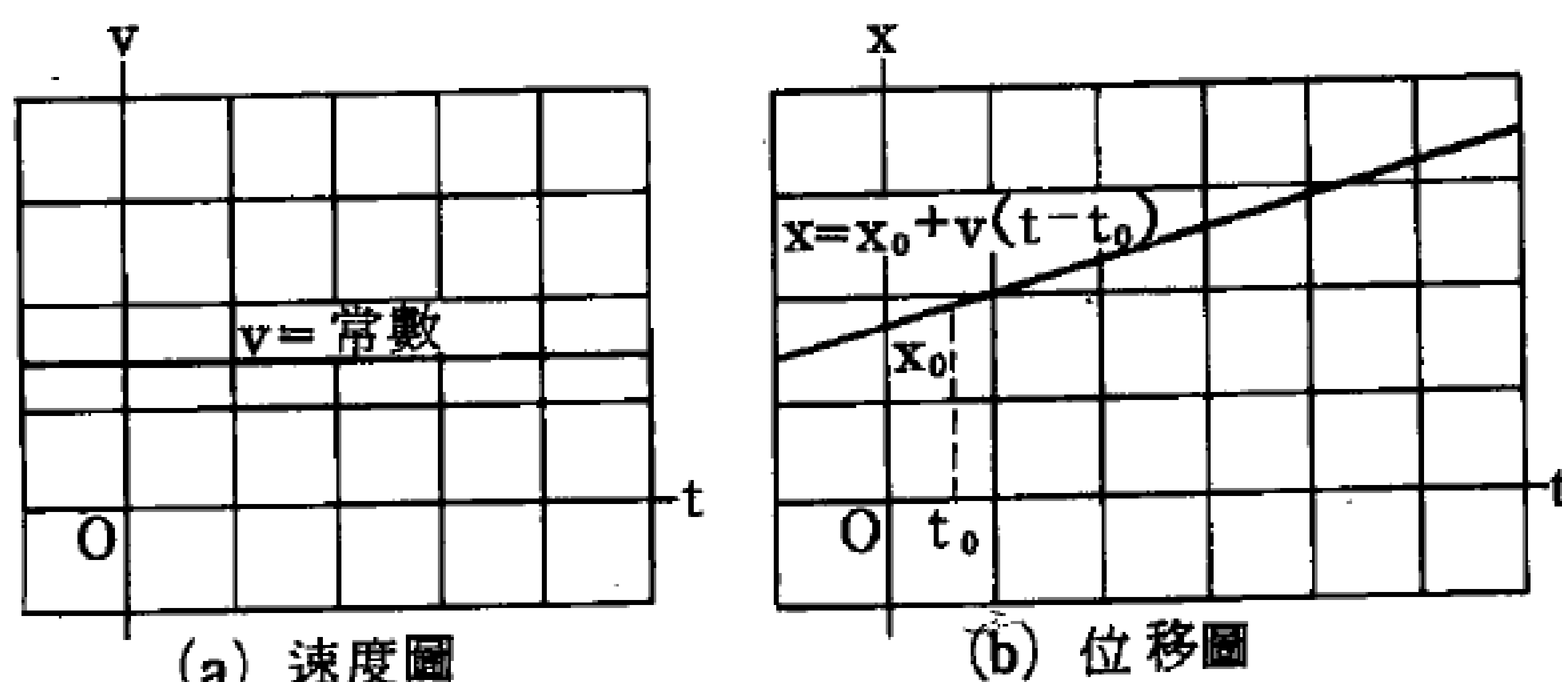
圖 12 — 196
等速直線運動的曲線

$$x = x_0 + \int_{t_0}^{t} v\,dt$$

故當 v 爲一常數時，得

$$x = x_0 + \int_{t_0}^{t} v\,dt = x_0 + v_0 \int_{t_0}^{t} dt$$

或
$$x = x_0 + v(t - t_0)$$



(a) 速度圖　(b) 位移圖

圖 12—197

在圖 12—197 (*a*) 中，繪出的圖線爲等速直線運動中 v 對 t 的函數圖線，在圖 12—197 (*b*) 中所繪的爲等速直線運動中 x 對 t 的函數圖線。

【等速率圓周運動】(Uniform circular motion)

物體所受偏向力之大小恆保持一定時，此物體將以等速率作圓周運動。此偏向力稱爲向心力，因其方向恆指向運動圓之圓心。

1. 速度——運動物體之速度方向恆與運動圓相切，物體以等速率 v 在時間 T（週期）內繞半徑爲 R 之圓一週，如圖 12—198 (*a*)，

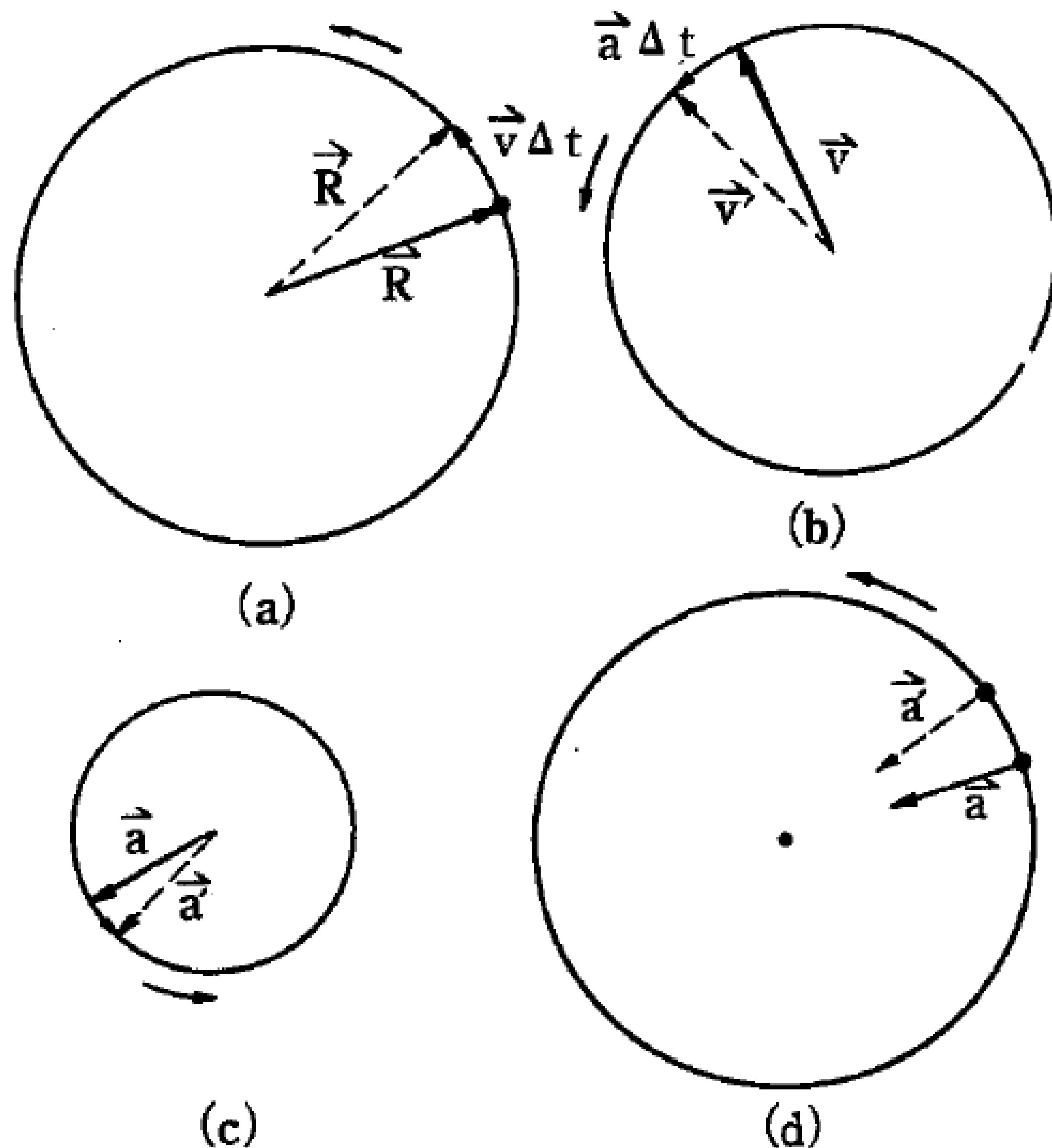


圖 12—198

故 $$v=\frac{2\pi R}{T} \qquad (1)$$

2.向心加速度——速度向量之頂端在時間T內沿半徑爲v之圓運行一週，如圖 12—198 (b)，故產生此種變化之加速度a爲：

$$a=\frac{2\pi v}{T} \qquad (2)$$

(1)、(2)兩式消去T或v得：

$$a=\frac{v^2}{R}$$

或 $$a=\frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

又因$\vec{R}$與$\vec{v}$成 90°，$\vec{a}$與$\vec{v}$亦成 90°，故$\vec{R}$與$\vec{a}$成 180°，即

$$\vec{a}=-\frac{4\pi^2\vec{R}}{T^2}$$

式中“ − ”號表示$\vec{a}$方向和$\vec{R}$相反。$\vec{a}$之方向恆指向運動圓之圓心，稱爲向心加速度，如圖 12—198(c)、(d)。

3.向心力——由牛頓運動定律$\vec{F}=m\vec{a}$得向心力（即偏向心）爲：

$$F=-\frac{m4\pi^2 R}{T^2}$$

現考究沿直線之簡諧運動與等速圓周運動間之關係。許多複雜的運動能分析爲各種簡諧運動的組合，圓周運動是特別簡單之組合。在圖 12—199中，Q是繞圓周運動之點，圓之半徑爲A，運動之等角速率爲ω，以弧度/秒 表之，P之角頻率爲ω。Q在沿x軸之水平直徑上的投影爲P，稱Q爲參考點，Q運動所在之圓爲參考圓。參考點旋轉時，投影點P沿水平直徑來回運動。如圖 12—199 (a)、(b)所示，Q之位移的x分量恆與P的位移相同；如圖(c)，Q之速度的x分量恆與P的速度相同；如圖(d)，Q之加速度的x分量恆與P的加速度相同。

令在 $t=0$ 時，半徑 OQ 與 x 軸間之角爲 δ。在之後任何時間 t 時，OQ 與 x 軸間之角爲（$\omega t+\delta$），點 Q 以等角速率運動。故在任何時間 Q 的 x 坐標爲

$$x = A\cos(\omega t+\delta) \qquad (1)$$

因此，投影 P 點沿 x 軸作簡諧運動，故可以等速圓周運動沿直徑的投影描述簡諧運動。

簡諧運動的角頻率 ω 與參考點的角速率相同。簡諧運動的頻率與參考點的單位時間之轉數相同，因此 $\nu=\omega/2\pi$ 或 $\omega=2\pi\nu$。參考點轉整週之時間與簡諧運動的週期 T 相同，因此 $T=2\pi/\omega$ 或 $\omega=2\pi/T$。在任何時間 t 簡諧運動的相 $\omega t+\delta$ 是 OQ 與 x 軸所交之角，如圖 12—199 (*b*)、(*c*)、(*d*)。在 $t=0$ 時 OQ 與 x 軸之交角爲 δ，即相常數或運動的初相位。簡諧運動的振幅與參考圓的半徑相同。

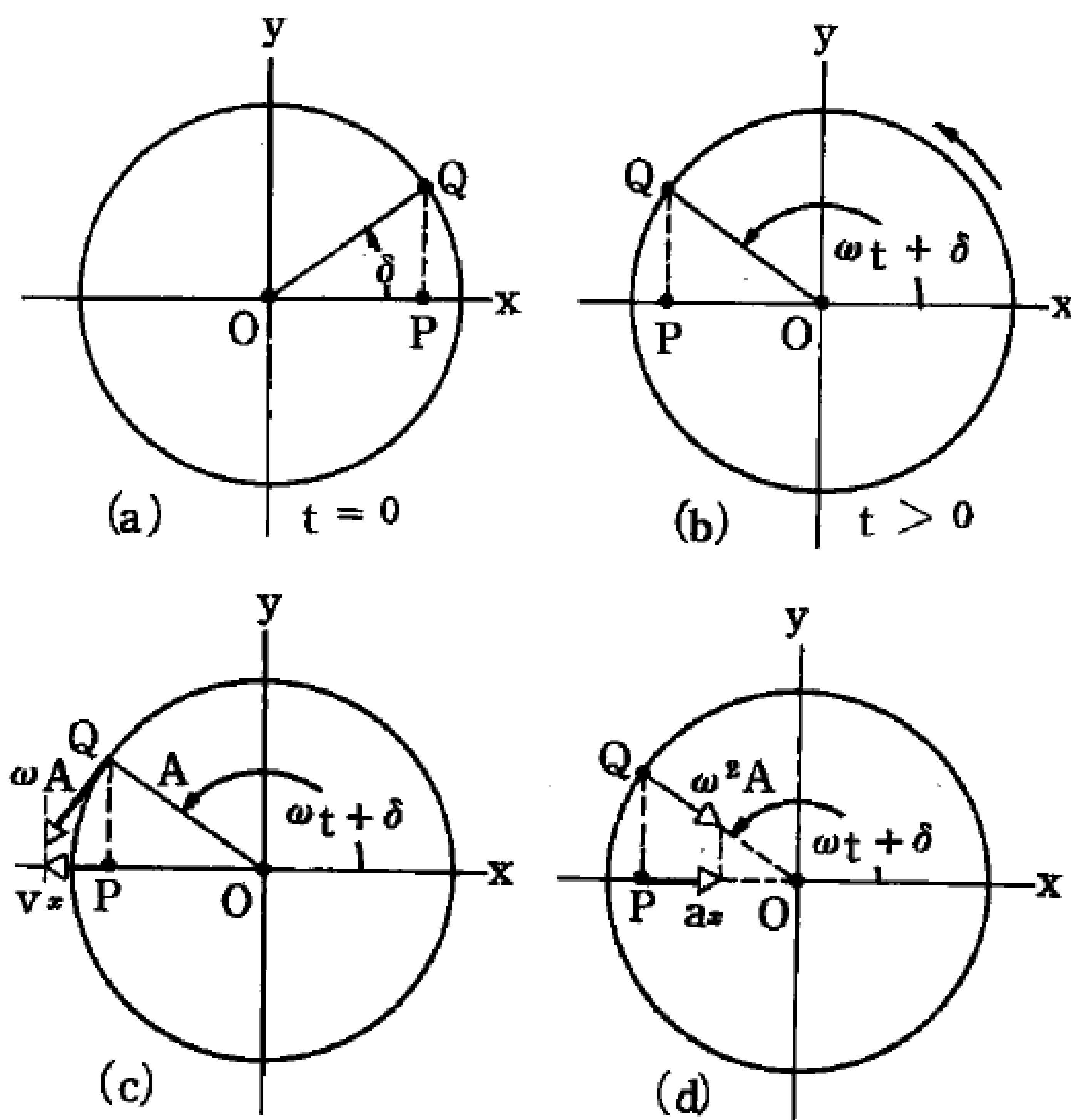


圖 12—199
簡諧運動與等速圓周運動之關係

參考點 Q 的切向速度大小爲 ωA。因此，切向速度的 x 分量（如圖 (*c*)）爲

$$v_x = -\omega A\sin(\omega t+\delta)$$

當 Q 和 P 向左運動時 v_x 爲負；當 Q 和 P 向右運動時 v_x 爲正。在簡諧運動的兩端點 v_x 爲 0，在該兩處 $\omega t+\delta$ 爲 0 和 π。故 v_x 必爲 0。

在等速圓周運動 Q 點的加速度沿徑向內，大小爲 ω^2A。投影點 P 的

加速度是參考點 Q 之加速度的 x 分量（如圖(d)），故

$$a_x = -\omega^2 A\cos(\omega t+\delta)$$

爲作簡諧運動之點的加速度。在簡諧運動的中點 a_x 爲零，在該處 $\omega t+\delta=\pi/2$ 或 $3\pi/2$，故 a_x 必爲零。此結果與沿 x 軸之簡諧運動的諸結果完全相同。

若取參考點在 y 軸的垂直投影，則得 y 投影點的運動

$$y = A\sin(\omega t+\delta) \qquad (2)$$

此亦爲簡諧運動，與（1）式僅相位不同，因若以 $\delta-\pi/2$ 代 δ，則 $\cos(\omega t+\delta)$ 成爲 $\sin(\omega t+\delta)$。顯然圓周運動沿任何直徑的投影均爲簡諧運動。

反之，圓周運動可描述爲兩個簡諧運動的組合。相組合之二簡諧運動，有相同之振幅和頻率，但相位差90°，即沿相互垂直之線上運動。當一分量在最大位移時，另一分量在平衡點。若合併二分量（1）式和（2）式，即得

$$r=\sqrt{x^2+y^2}=A$$

由寫出之 v_y 和 a_y 之表示式合併對應之量，亦可得式

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\omega A$$

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\omega^2 A$$

以上三式各相當於等速圓周運動之位移、速度和加速度的大小。

【等速運動】（Uniform motion）

等速運動可分爲等速率運動與等速度運動，茲分述如下：

1. 等速率運動——質點在運動過程中，快慢一致，但方向不一定不變。速率如一定，則不論如何轉彎，改變方向，仍爲等速率運動。

2. 等速度運動（即等速直線運動）——質點在運動過程中，速率與方向皆不變。

等速運動每單位時間內所經過的距離必相等。設物體的速度爲 V，

則 1 秒內所經過的距離，就是V的數值；2 秒內的距離必爲 $2V$；3 秒內的距離必爲 $3V$，所以 t 秒內所經的距離必爲Vt 。設S表所經的距離，則等速運動的公式爲：

$$S = Vt$$

或

$$V = \frac{S}{t}$$

若距離的單位爲厘米，時間的單位爲秒，則速度就可記作厘米／秒，稱爲每秒厘米。其他如每分米（米／分），每小時仟米（仟米／時）等，都可以表示速度。

【等速運動電荷】（ Uniform motion electric charge ）

一電荷以等速度運動，電場爲徑向，而磁場爲橫向，其力線爲繞運動路線之同心圓，圖 12 — 200 示四對稱點P_1、P_2、P_3及P_4 之電場E及B磁場，運動電荷隨身攜帶場（因而同時攜帶場之能量及動量），那些固定於實驗室參考坐標系上之點及在運動電荷後之點的電磁場則漸減；但在運動電荷前面之點建立了等量之場，此必在電荷相對於參考坐標系之運動方向有一能量交換，然而場之總能量維持不變，如在參考坐標系所量得者，則可推論爲：一電荷作等速直線運動並不輻射電磁能。

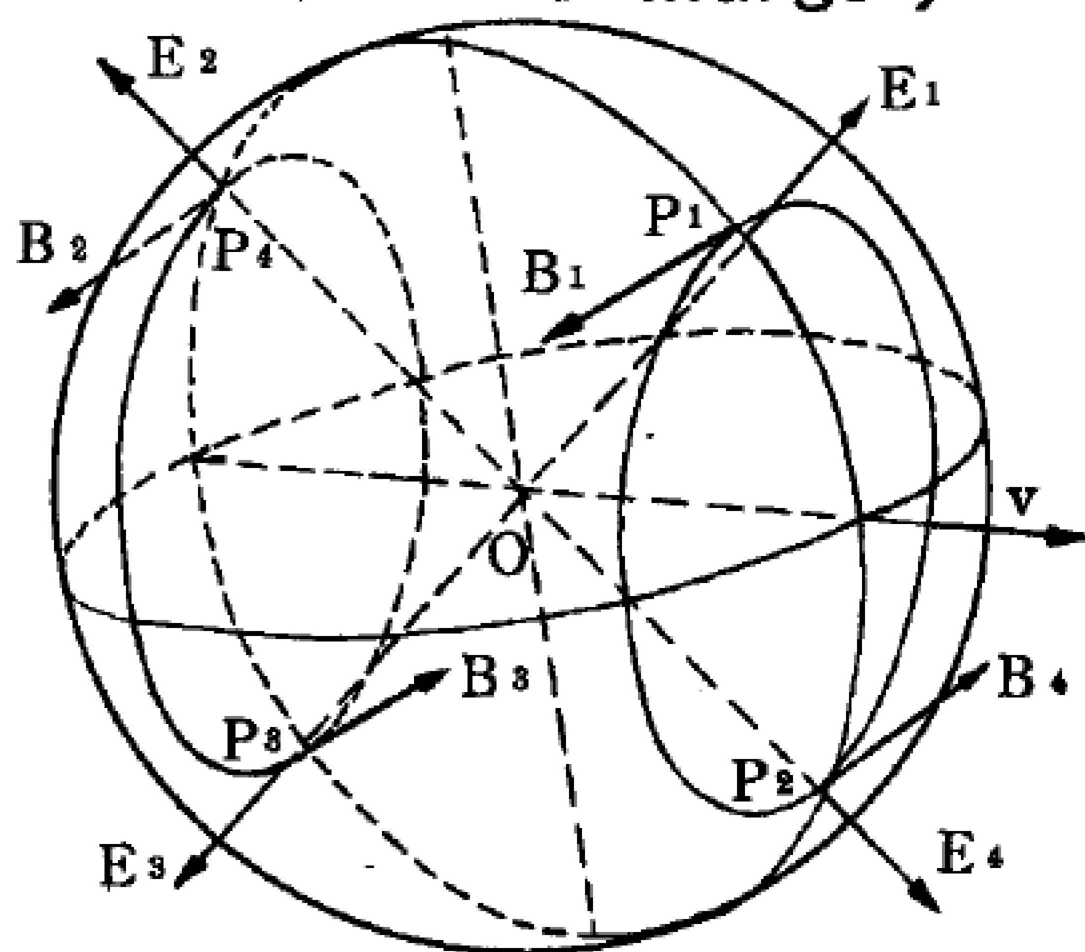


圖 12 — 200
一等速運動電荷之磁場及電場

【等速轉動】（ Uniform rotation ）

即等角速度轉動。

參閱“等角速度轉動（ *Uniform angular rotation* ）”條。

【等強度曲線】（ Isointensity contours ）

是一種假想在地面或水面上的曲線，或是畫在地圖上的曲線，用以連結某一時刻輻射場中具有相同放射強度的點而畫成的。

【等偏線】(Isogonic lines)

連結地球上地磁變化(*magnetic variation*)或磁偏角(*magnetic declination*)等強度或相等各點之連線。

【等幅波】(Undamped wave ; Continuous wave)

在持久狀況中，連續振盪之幅度不變，無減幅現象者；未經調幅的連續等幅射頻，稱爲等幅波。電報通信頗多採用，一般簡稱*C.W.*。

【等幅波發射】(Undamped wave transmission)

無線電波波幅相等之發射，凡電子管電路組成的發報機所發射者屬之。

【等幅波發送】(Continuous wave transmission)

無線電波幅相等之謂，凡電子管發報機所發送未經調幅的電波，即屬此類。

【等幅波發送機】(Continuous wave transmitter)

等幅波發送機可概略分爲以下幾類：

1. 單極發送機——單級發送機之射頻輸出，可藉屏極電源電路串接的一個開關或一個電鍵，照無線電碼將此開關(或鍵)時接時斷，就可將信息送出。此發送機的輸出，被遠方接收天線收到，送入接收機，然後將射頻電波變爲可聽到的低頻率。如莫司電碼，英文字母*D*是由一個劃“—”及兩個點“・・”所組成，此劃與點變等幅射頻電波的波形，正如圖 12—201 所示。

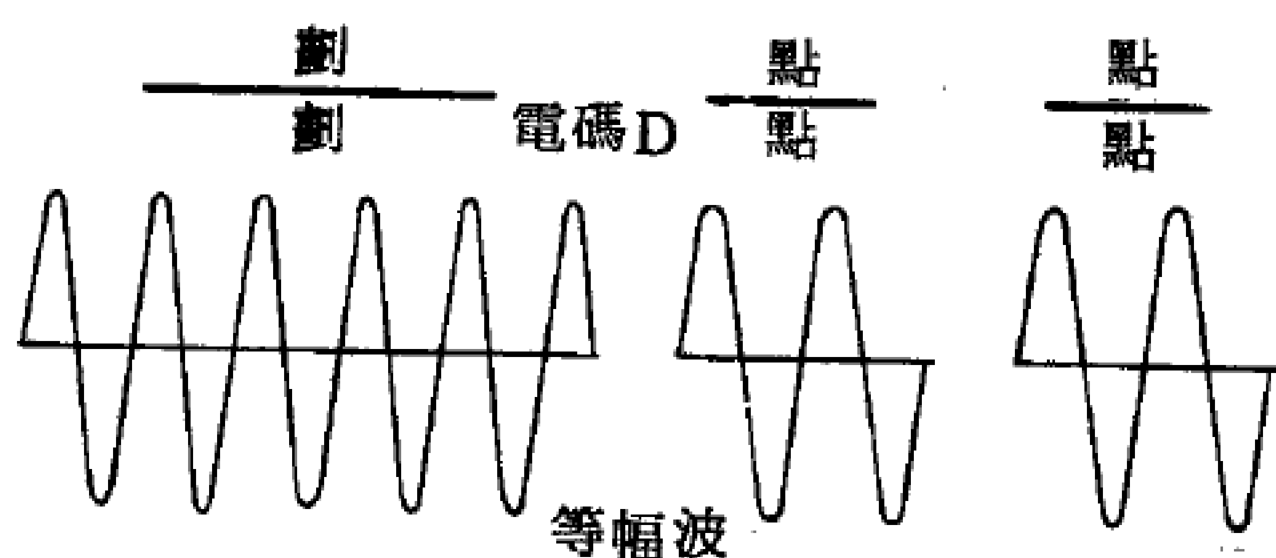


圖 12 — 201

2.主振功率放大器（*master-oscillator power-amplifier*）——雖然在原理上，單級振盪器就已經可以作一個發送機用，但在實用上，爲使增大波幅及增高射電頻率，大多數發送機都由數級所組成，最普遍而功率較大的發送機就是主振功率放大器。此發送機主要含有一簡單的振盪器及一級或數級功率放大器，然後連接至天線而振盪器又可用晶體振盪器。主振功率放大器方塊圖及其電路繪於圖 12 — 202，由圖 12 — 202 (*a*)的方塊圖知，電鍵直接控制振盪器的電源，而在圖 12 — 202 (*b*)電鍵則接在功率放大器的電源電路上，以控制功率放大器電源。此兩種安置電鍵的方式都可應用，但圖(*b*)安置電鍵的方式比較普遍，它的功率放大器可將天線與振盪器隔離。天線的有效電阻及電容常受風及其他外界因素影響而改變，因此如果將天線直接接於振盪器上，天線有效阻抗的變更，將使振盪器槽路的調諧改變，因此發射頻率就不穩定。

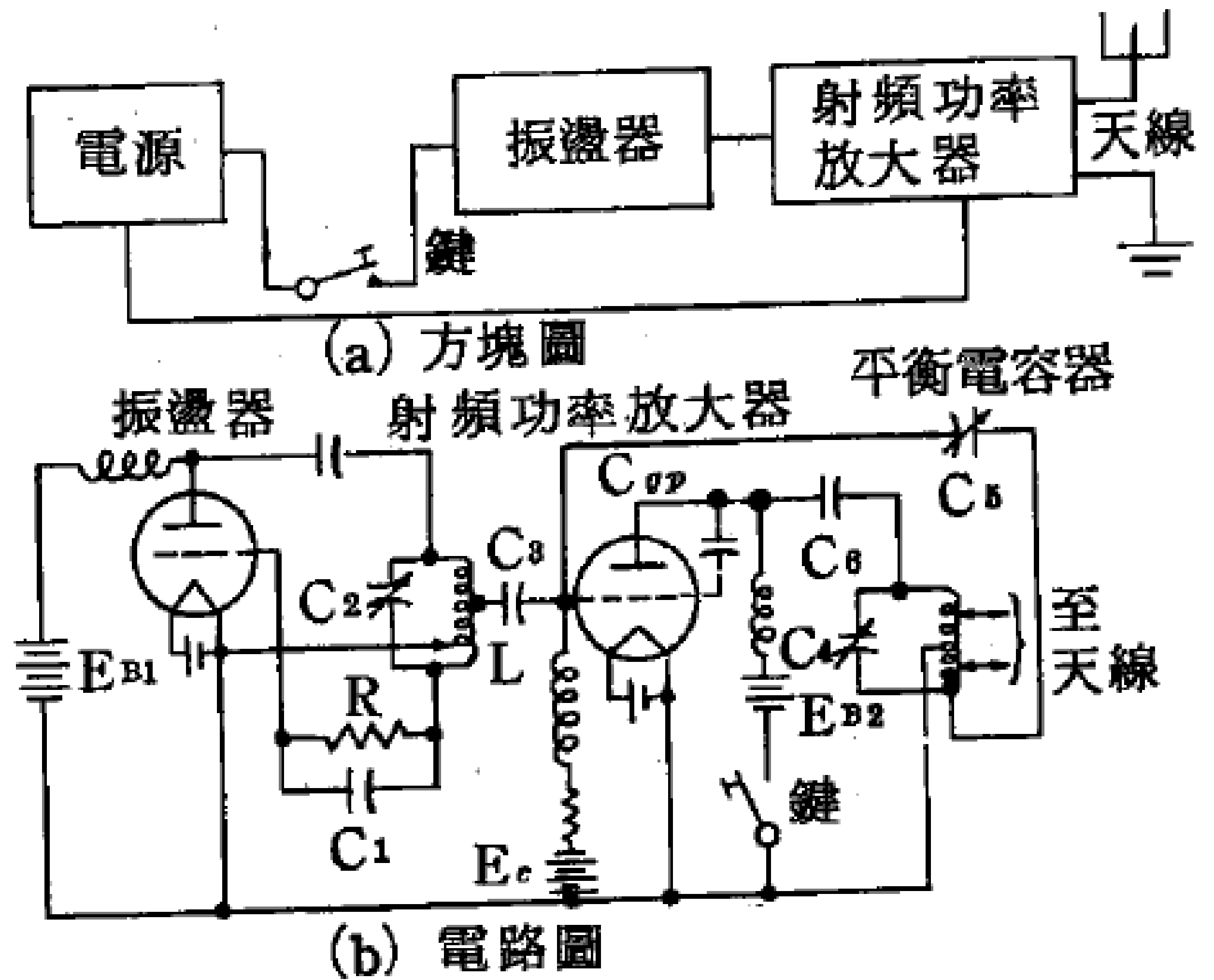


圖 12 — 202
主振功率放大器發送機

圖 12 — 202 (*b*)的主振功率放大器發送機，是由哈特萊振盪器（*Hartley's oscillator*）及丙類功率放大器所構成，並且兩者都利用射頻抗流圈及電容器予以並聯供電。振盪器的輸出藉電容器 C_3 與功率放大器的控制柵之耦合，同時電容器 C_3 有隔離直流電源 E_c 的作用。功率放大器的屏極槽路有些抽頭，可利用此抽頭與天線耦合。

功率放大器的屏極與控制柵之間的中和電容器（*neutralizing condenser*- C_5 ），用來中和控制柵與屏極的極間電容 C_{gp} （圖 12 —

202(*b*)的虛線所示）。由於三極管控制柵與屏極間有電容存在，部分屏極輸出能量經此電容反饋至控制柵，因此將損失功率輸出。爲使極間電容所產生之反饋作用消失，所以在功率放大器，屏極槽路的下端與控制柵之間接電容器 C_5，成爲另一個反饋電路，反饋部分輸出的能量，但經電容器 C_5 反饋到控制柵的電壓與其原有極間電容反饋至控制柵的電壓極性正好相反，在理想條件下，相位差應爲 180°，所以兩反饋能量互相抵銷。凡是由屏極電路的中和電容器達到中和的目的，稱爲屏極中和（*plate neutralization*）。如果中和電壓是由控制柵電路得到，則稱爲控制柵中和（*grid neutralization*）。無論是利用那一種中和方式，爲達適當的中和，中和電容器 C_5 的值需約等於控制柵與屏極間的極間電容。

3. 緩衝放大器（*buffer amplifier*）——一個二級的主振功率放大器發送機，僅能提供有限度的輸出功率。如欲較大的輸出功率，就需要在振盪器及最後一級的功率放大器間加數級放大器

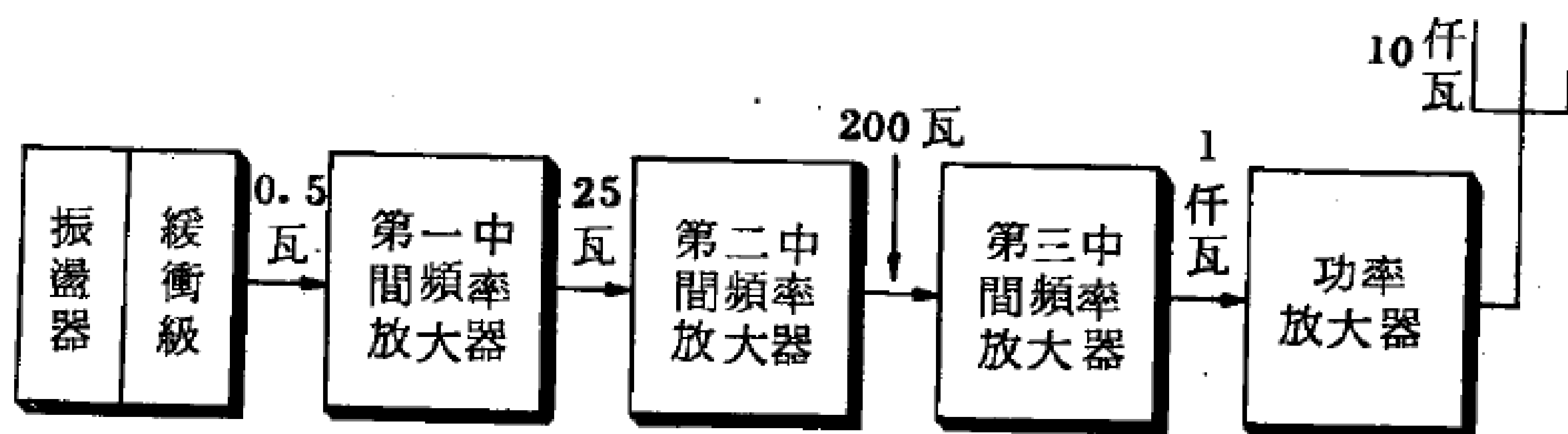


圖 12 — 203
中頻 10 仟瓦等幅波發送機的方塊圖

，所加的放大器稱爲中間級放大器。中間級放大器級數的多寡，完全要看中間級最後一級的放大器是否能推動功率輸出放大器，使其達到需要的輸出功率而定。再者，通常在振盪器與中間級放大器的第一級之間都加一個緩衝放大器，使振盪器與以下各級放大器隔離，因此天線負載及耦合有所變化，使振盪器頻率的改變達到最小。緩衝放大器就是甲類電壓放大器，控制柵永無柵電流，所以無需功率輸入，對振盪器而言也就無電流輸出。圖 12 — 203 是一個 10 仟瓦中頻率（300仟赫至 3 百萬

赫)的等幅電波發送機方塊圖，此系統由一緩衝級及三個中間級放大器所組成。由於振盪器與緩衝放大級的結合可得到正確的發射頻率，但其輸出功率僅爲0.5瓦，此0.5瓦的功率經三個中間級丙類射頻功率放大器放大，而得1仟瓦的功率輸出，再由後一級功率放大器的放大而得到 10仟瓦輸出。

4.高頻及特高頻率發送機(*high-frequency and V.H.F. transmitter*)——如果發送機必須作用於3兆赫到 30 兆赫的高頻率，或300兆赫到3,000兆赫的特高頻率範圍，必須用頻率多倍器(*frequency multiplier*)以達到所需的輸出高頻率及特高頻率。通常由晶體振盪器都不能直接得到如此高的頻率輸出，而其他振盪器雖

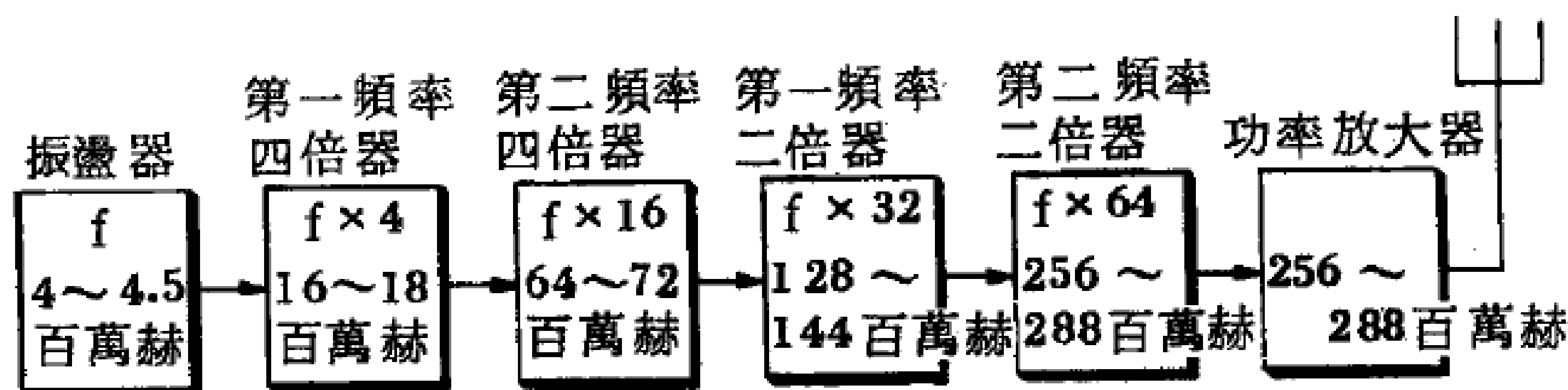


圖 12—204
特高頻率多倍器之發送機方塊圖

直接產生高頻率或特高頻率，但所輸出的頻率又不穩定。因此最好的辦法就是利用一個振盪器，先產生低頻率振盪，然後經數級頻率多倍器，以達所需輸出的高頻或特高頻率。頻率多倍器屏極電路的槽路，如調諧於二倍的輸入頻率(振盪器頻率)，則稱爲頻率二倍器(*doubler*)；調諧於三倍輸入的頻率，則稱爲頻率三倍器(*tripler*)；調諧於四倍輸入之頻率，則稱爲頻率四倍器(*quadrayler*)。用同樣的方法，可將頻率增大數十倍。頻率多倍器都是功率放大器，但其功率輸出不如一般功率放大器大。在特高頻率的高功率發送機，中間級放大器需多增數級。

圖12—204 是特高頻率發送機的方塊圖，此系統的調諧頻率範圍爲 256～288 百萬赫。由四個頻率多倍器，將振盪器所輸出頻率大64 倍。振盪器本身所輸出頻率的範圍爲4百萬赫至4.5百萬赫。其

輸出頻率是由兩個頻率四倍器及兩個頻率二倍器所得到。最後一級的功率放大器將頻率多倍器的功率輸出，加以適當的放大，然後送至天線發送出。

【等幅波超外差接收機】(Continuous wave super-heterodyne receiver)

由於等幅載波的波幅未經調變，所以調幅式超外差接收機不能用以接收無線電報等幅載波。等幅電波爲一依照無線電碼時斷時續的載波信號，爲了使此等幅載波信號能爲人所聽見，必須在接收機接收到後，利用一適當的聲頻電波先加以調變，然後將此已調變的信號載波，用一般的檢波器予以檢波，而得一個可從耳機聽到的時斷時續聲音。只要在調幅超外差接收機上，加一個拍頻振盪器，就可作接收等幅載波信號之用。當拍頻振盪器的開關接通後，可由接收等幅載波信號得一聲頻信號。任何一種振盪器都可作爲拍頻振盪器，如圖12—205 是一個哈特萊五極管 (*Hartley's pentode*) 拍頻振盪器。

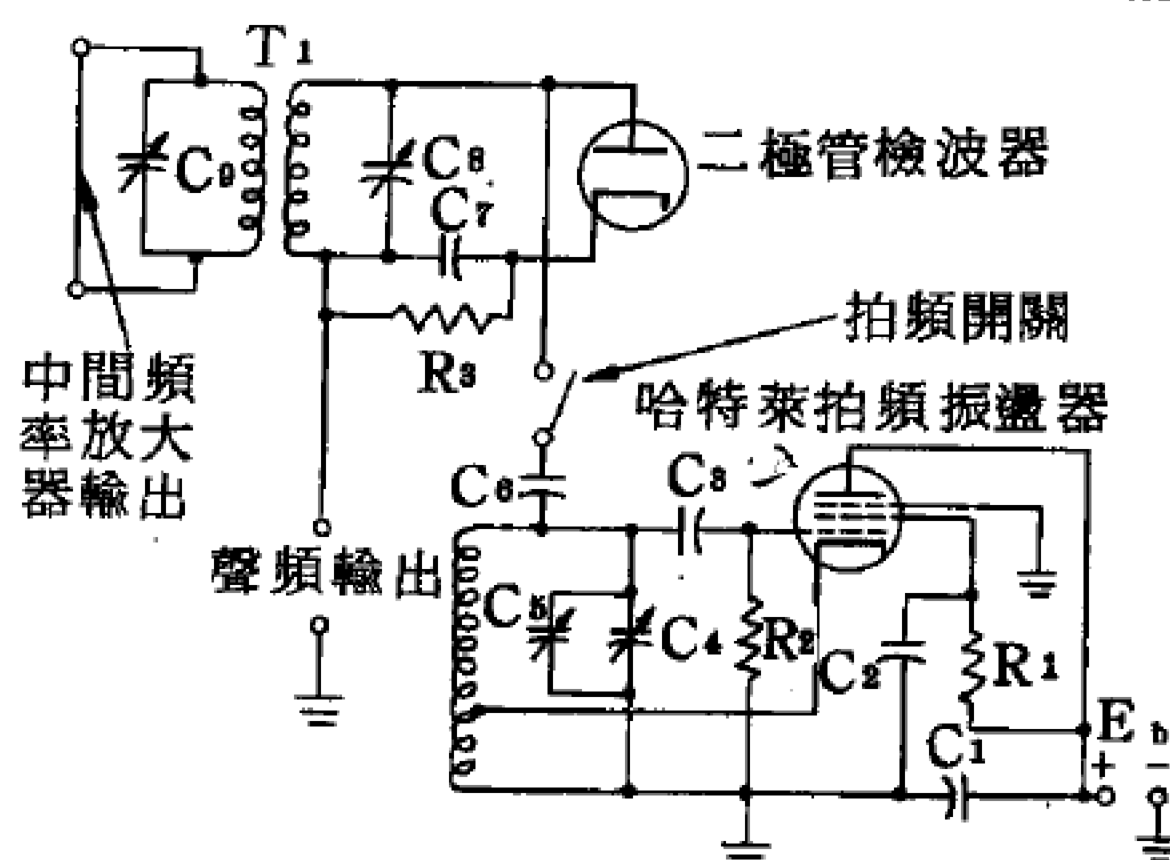


圖 12 — 205
等幅波接收用之拍頻振盪器

此拍頻振盪器電路的主要調諧電容器 C_4，必須先調到接收機的中間頻率上。另一並聯修整電容器 C_5 可使振盪器輸出頻率有數百到約 1,000赫的變化。拍頻振盪器輸出頻率藉電容器 C_6 和開關與最後一級中間頻率變壓器級線圈相耦合 (即檢波器的屏極)，因此振盪器的輸出與中間頻率電流相混合，如此就可得到聲頻信號，將拍頻振盪器信號注入其他各級中間頻率放大器，也可得同等的效果。

【等幅振盪】(Undamped oscillation; Continuous oscillation)

振盪電流之正弦曲線，其相鄰之幅度均等者；幅度保持定值，不隨時間而減小的振盪，謂之等幅振盪。現代無線電的一切應用，只可能利用等幅電振盪來實現。因此，產生等幅振盪就成了無線電工程中最重要的任務之一。由電子管做成的電子管振盪器，可以順利地完成這一任務。只有在欲獲取最高頻率的等幅振盪時，用於電子管振盪器的普通等幅波振盪原理才不適用。獲取最高頻率(直到和1厘米及更短波長相對應的頻率)等幅振盪的問題，現在已經因利用磁控管和調速管而解決了。

【等程音階】(Equitempered scale)

各全音程之值均爲相等，而各半音程則適爲全音程之平方根。換言之，兩個連續音之音程均爲相等。故每音階之內，所須增加之新音僅有5個，而全音階則由12個純音組成。

【等電子數序】(Iso-electronic sequence)

亦稱等電子系列。

參閱“等電子譜(*Iso-electronic spectra*)”條。

【等電子譜】(Iso-electronic spectra)

一系列的原子有相同的電子組態，稱爲等電子系列(*iso-electronic sequence*)；等電子系列的離子，具有類似的光譜，稱爲等電子譜。每一等電子系列中所包含的離子都是由任一中性原子開始，然後依原子序數遞增，而作一次游離、二次游離…等的多離子組成。例如最簡單的等電子系列，是以氫(*H*)原子爲首，依次爲一次游離化的氦(*He*)、二次游離化的鋰(*Li*)，直到101次游離化的鍩(*nobelium*, *No*, $Z=102$)爲止。

等電子系列的離子光譜中的譜線數、譜線與譜線間的波長間隔以及譜線的強度比等都十分相似。但光譜隨系列的元素原子序數的增加，而

趨向於短波長方向。同時在對應的能階間，其頻率間隔也隨之增加。

理論上，一百多個不同的等電子系，其離子譜及譜線均應可觀察得到，但事實上可以觀察到的遠少於函數。實驗上能夠觀察到的等電子系列爲至以鈉（Na）爲首的系列。

【等電子離子】（Iso-electronic ions）

在一系列的離子中，具有相同數目的核外電子者稱等電子離子，因此等電子離子有相同形態的譜項（即能階）。每一系列的等電子離子，由一中性原子開始，依週期表的順序，游離以下元素的原子，使它們所剩餘的電子數，與中性原子的電子數相同爲止，例如

光譜記法

Ca I　Sc II　Ti III　V IV　Cr V　Mn VI……

放射的原子或離子

Ca　Sc^{+}　Ti^{++}　V^{+++}　Cr^{++++}　Mn^{+++++}….

原子序 Z

20　21　22　23　24　25

從鈧（Sc）移去1個電子，鈦（Ti）移去2個，釩（V）移去3個，如此推演下去，即可得一系列的等電子離子，每個都具有20個外圍電子，它們的光譜性質頗相類似，但譜項大約與核心的電荷數的平方成比例，就像在單電子系列中

H　He^{+}　Be^{++} …

譜項與原子序 Z 的平方成比例一樣。因此依次的光譜，逐漸向短波移動，不久即達紫外光的區域。

雖然等電子的光譜相類似，但是由於外圍電子的耦合，至少在細節上仍有差別，所以能從等電子系列的研究中，計算電子耦合對於能階和光譜的效應，同時也可以用來解釋太陽日冕的光譜。

【等電位陰極】（Unipotential cathode）

一般說來，等電位導體指的是其上一切點子都處於相同電位下的導體。等電位陰極是其上一切點都具有相同電位的電子管陰極。在直熱式電子管內，陰極（燈絲）直接由電流加熱，通過於燈絲的加熱電流沿著燈絲產生電壓降。因此在燈絲的各點之間便存著一些電位差。如果燈絲由交流供電，則沿著燈絲的電壓降時刻在變化，在燈絲各點之間產生交流電壓。因爲柵極聯接到燈絲上的某一點，所以作用於燈絲各點之間的交流電壓即引起柵極與燈絲各點之間的電場發生變化，同時也就引起屏極電流發生變化。故若燈絲由交流供電時，直熱式管子總是或多或少的產生比較強的交流聲。在旁熱式電子管中，陰極不是直接由電流加熱，而是由專門的加熱器來加熱，陰極與加熱器之間沒有電氣聯繫。因爲在這種電子管中，陰極上並不流過燈絲電流，所以這種陰極上的一切點都具有相同的電位，就是說這種陰極是等電位陰極。由於這個緣故，當用交流供電時，具有等電位陰極的電子管不產生交流聲。等電位陰極電子管的另一優點在於其陰極的面積可以作得比普通燈絲大得多，這樣就可獲得很大的跨導。

【等溫楊格模數】(Isothermal Young's modulus)

用Y表示等溫楊格模數，則定義爲

$$Y = \frac{L}{A}\left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_{\theta}$$

式中F爲線中之張力，以牛頓爲單位，L爲線之長度，A表示金屬線的截面積。實驗發現Y與F的關係很微小，而主要與θ有關，在溫度的小範圍內，它也可以被當做常數。Y的單位是$1\ dyne/cm^2$。

【等溫過程】(Isothermal process)

在一般的熱力過程，若工質維持一定的溫度不變，便叫等溫過程。但當工質被壓縮時，外力對工質所作的功將變成工質的內能，因而提高其溫度，除非這些熱量能經由其他介質流入四周物體中，否則很難維持

等溫狀態，若在一活塞圓筒中置有 50 塊薄鋁片的振動器，當活塞向下慢慢地移動的時候，氣體就被壓縮，雖然氣體溫度升高得非常均勻，仍然會有一點熱量從氣體流到較冷的薄鋁片上去。就好像活塞移動得很快的情形一樣，會有熱量從熱的區域流向冷的區域，振動就受到了阻滯。當增加鋁片的數目時，氣體就沒有升高溫度的機會了，因爲這個時候當活塞向下移動的一瞬間，氣體所得到的額外的內能，被鋁片吸收了，不會再有溫度的增加。鋁片的數目很多，在活塞慢慢向上移動的第二個半週內，氣體在還沒有變冷以前，熱量又從鋁片流回到氣體。在表面積趨向於無限大的極限情況下，氣體和鋁片都維持在同一溫度，熱量向二個方向的流動都一樣，活塞的一部分機械能會轉換成爲鋁片的內能，然後鋁片的內能再變換成爲活塞的機械能。在一個週期的過程中，沒有任何溫度的變化，如此便構成了一個等溫過程。

等溫過程並不一定就是可逆的。理想氣體從一個容器擴散到另一個原來是眞空的容器中去，不會有任何溫度上的變化。但這個過程並不是可逆的，即使氣體是從一個很小的孔漏出去。雖然在兩個容器裏面的氣體都是靜止的，溫度也沒有變化，但是在開孔附近的氣體分子有一淨速度，這就足以導致擴散的過程成爲非可逆的過程了。所以說可逆的等溫過程，必須要整個系統的氣體都在同一狀況下，不但振動要很慢，還要和一個有龐大熱容量的物體等溫接觸才行。這可以利用大量的薄銅片，將這些薄銅片均勻分佈而得。

【等溫膨脹】(Isothermal expansion)

當一種氣體膨脹時，其溫度保持不變的，謂之等溫膨脹。由理想氣體方程式

$$PV = nRT \qquad P = \frac{nRT}{V}$$

氣體膨脹所作之功爲

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV$$

$$= \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

如圖 12—206 所示，氣體等溫膨脹，作用於活塞上的功就等於曲線 $P = \frac{nRT}{V}$ 所圍的面積。但 n、R 爲常數，T 亦不變，故

$$W = nRT \ ln \frac{V_2}{V_1}$$

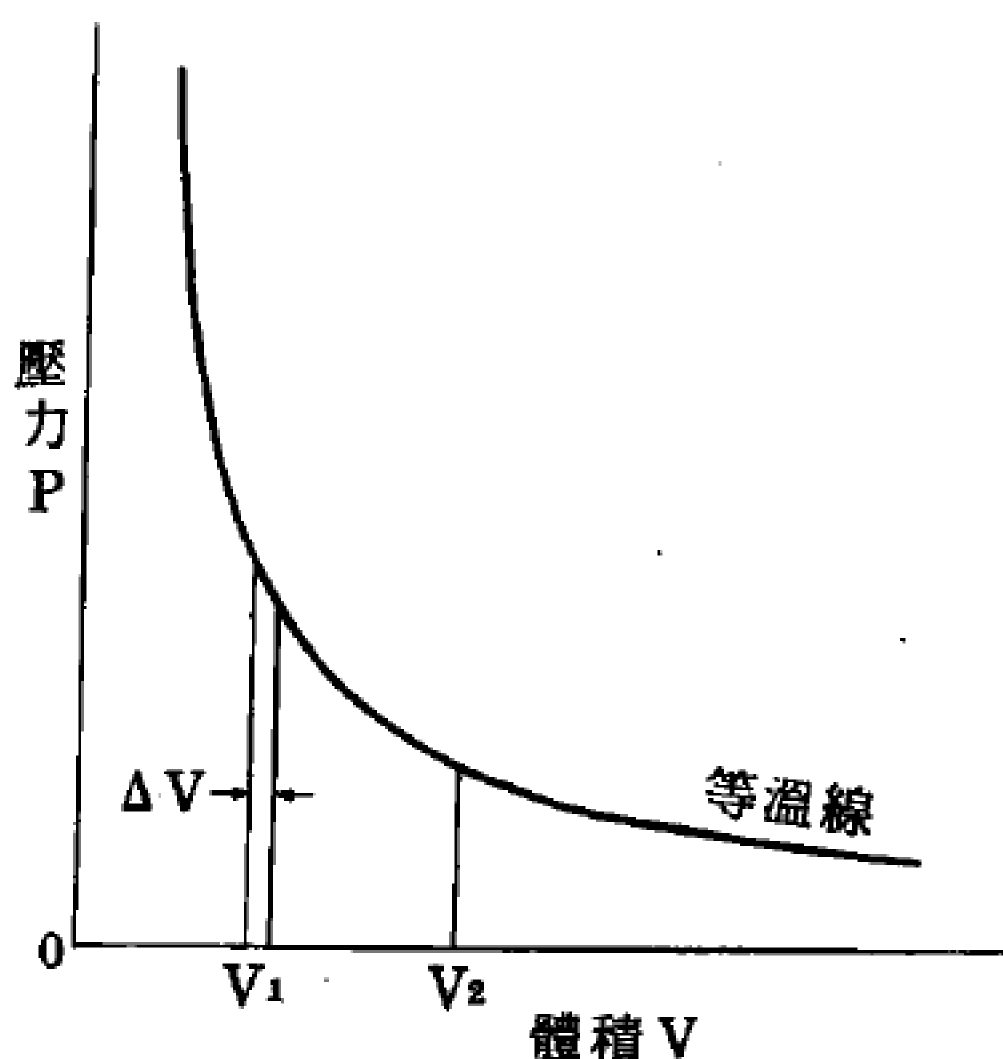


圖 12—206

【等溫壓縮係數】(Isothermal compressibility)

等溫壓縮係數表示在溫度保持一定的時候，壓力變化對靜流體系統體積產生的效應，以希臘字母 κ 表示。即

$$\kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_\theta$$

壓縮係數的單位是 $1\ atm^{-1}$，而 $1\ atm = 1.01 \times 10^6 dyne/cm^2$。固體和液體的 κ 值隨壓力和溫度所生的變化很小，因此常可將 κ 視爲常數。

【等溫變化】(Isothermal change)

在溫度保持一定的條件下，所進行的變化稱爲等溫變化。要使某物體產生等溫變化，須使該物體與熱容量大而溫度一定的另一物體接觸，並須使該變化成爲似穩態。

【等熵絕熱過程】(Isentropic adiabatic process)

當熱傳遞爲零時 (絕熱過程)，如無摩擦，可由熱力學理論得以下之關係：

$$\frac{p}{\rho^k} = C_s = 常數$$

式中

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{等壓比熱}{等容積比熱} = 氣體絕熱常數$$

進而

$$\frac{T}{\rho^{k-1}} = \frac{C_s}{R} = 常數 \qquad \frac{T}{p^{(k-1)/k}} = \frac{C_s^{1/k}}{R} = 常數$$

對理想氣體 k 為常數，實際氣體 k 在相當範圍之形態內接近常數。絕熱壓縮過程中，對氣體所施之外功增加其內在能並提高其溫度。如摩擦存在時上式內之 k 值將有微小之變更，膨脹時較 k 略小壓縮時略大。

加熱與冷卻影響及所有中間形態均可由上式決定。此等方程式為建立氣體絕熱容積模數之基礎。

【等熵過程】(Isentropic process)

任何情況下，在一系統中，只要不從周圍流入熱能，物質要在瞬間變冷，並且繼續冷下去。此種不使熱能流入或流出的過程，謂之絕熱過程(*adiabatic process*)。反之，如熱能可流入或流出，謂之等熵過程。因為在此過程中熵(*entropy*)不變。但若是可逆的絕熱過程，熵值亦將維持定值，故亦為等熵過程。

【等衡定律】(Law of isostasy)

參閱"地殼等衡(*Isostasy of the crust of the earth*)"條。

【等劑量曲線】(Isodose curves)

組織中的某一深度，其吸收相等輻射能之點所連成的曲線稱為等劑量曲線。

【等臂天平】(Balance of equal arms)

指中心支軸至兩端的秤盤等距離的天平。利用第一種槓桿原理製成的，就像蹺蹺板一樣，當它成水平時，兩端物體懸點位置至軸心距離亦相等時，兩端物體所含的量一定相等。所以當等臂天平成水平時，天平左盤有多少物質的量，右盤上也一定要有同樣多的物質。

【等壓電源之聯結】(Combination of equal voltage sources)

1. 串聯——S 個電動勢均為 e，內電阻均為 r 之電源串聯後，接於此電源組兩端；電阻為 R 之外電路中通過的電流：

$$I_S = \frac{Se}{R+Sr}$$

因$Sr>R$甚多時，I_S與僅用一電源時相若；而$R>Sr$甚多時，I_S相當於1電源之S倍，故知此種聯法適用於外電阻大於內電阻甚多時。

2.並聯——P個電動勢均爲e，內電阻均爲r之電源並聯後，接於此電源組兩端，電阻爲R之外電路中通過之電流：

$$I_P = \frac{e}{R+\frac{r}{P}} = \frac{Pe}{PR+r}$$

若內阻$r<PR$甚多時與僅用一電源時相若；而$PR<r$甚多時，則I_P等於用1電源時，所生電流強度的P倍，故此種聯法在有小外電阻及需要強電流，而電池又不能承受強電流時用之。

3.複聯——將由S個相串聯的電源P列並聯後，接於外電阻爲R之電路中，則

$$I_C = \frac{Se}{R+\frac{Sr}{P}} = \frac{PSe}{PR+Sr}$$

其中P、S皆爲正整數，若I_C、R、r爲定值，則由電源之複聯公式藉不定方程之解法求出S及P。假使電源個數一定（$=PS$），而R與re亦已知，則因PSe爲定值，故當I_C爲最大時，$PR+Sr=(\sqrt{PR}-\sqrt{Sr})^2-2\sqrt{PRSr}$即爲最小；亦即當$PR=Sr$時，電路上有最強的電流通過。

【等壓線】（Isobar）

這是連接氣壓相等的各地點的線，通常是每2 mb畫一線。要畫等壓線時，先在氣候圖上記下各地的氣壓，由各地的氣壓值，依比例，在二地點的中間或推定氣壓的值而畫下。

像海上這種觀測地點少的地方，或中緯度，即利用風向與等壓線的25°角來畫。如圖12—207所示。

等壓線是稍微成平行的曲線，不會在中途分支、交叉或消失

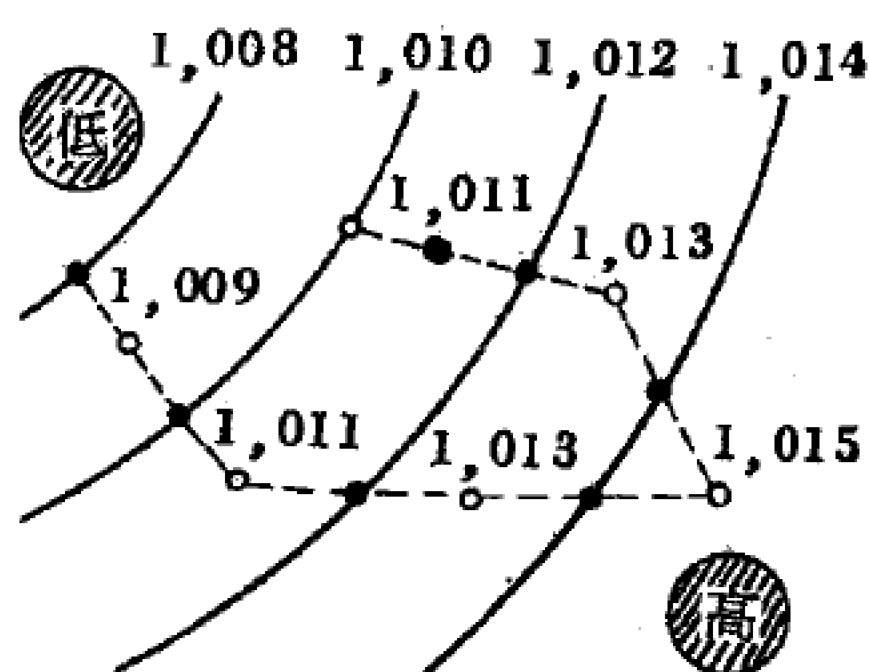


圖 12 — 207 等壓線的畫法

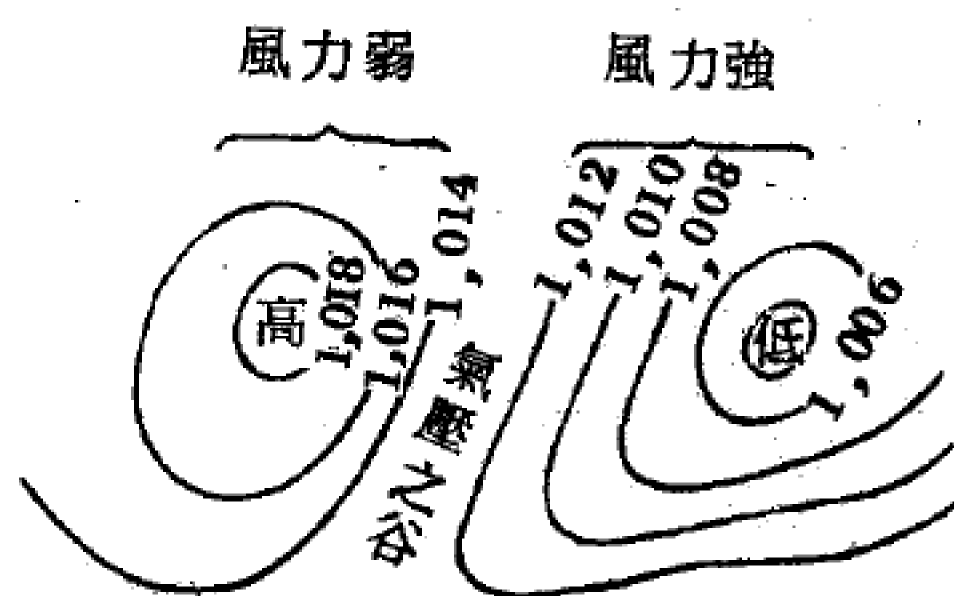


圖 12 — 208

。同時，等壓線的間隔越狹，風力越強，如圖 12—208 所示。

【策動力】(Driving force)

當一物體運動時，若不繼續供以能量，由於阻滯作用的消耗，將會使運動停止；若藉策動力對物體作功而供以能量，以抵銷阻滯消耗，則可維持運動繼續進行。此種連續作用於物體上，使物體發生並保持運動的力，稱為策動力。時鐘裏的彈簧釋出彈性位能，即是用於抵銷鐘擺因懸點的摩擦及空氣阻力而耗失的能量，而使時鐘繼續擺動之一例。

策動力的大小可能隨時間而變，隨施力的機構而定。常見的策動力是週期性的策動力，用於維持週期性的運動。

策動力的形式也不一定是普通的力，例如週期性的電源亦可將電磁能供給電磁振盪的系統，而維持電磁振盪。

參閱“諧振體 (*Harmonic oscillator*) ”條。

【絞線】(Stranded wire)

導線是由許多根線絞繞而成的。

【結】(Junction)

接點或接觸面，指晶體管中間交界的區域。如 P-N 或 N-P 結。

【結合能】(Binding energy)

1. 由於原子或分子自動結成固體，此種結果必來自吸力之作用。因此要把原子或分子拆散時，需外力作功 (加熱)。結合能便是拆散此

種結構所需之能，應爲正值，其負值卽爲固體之位能。當固體爲晶體時，結合能便稱爲格子能（*lattice energy*）。

2. 中子或質子的結合能乃是從一個原子核中各別移去一個中子或質子所須的能量。電子的結合能乃是從一個原子或分子中移去一個電子所需的能量。

3. 原子核是由質子及中子組合而成的，但實際上原子核的眞正質量M，恆較組成該原子核同數之質子及中子的質量總和爲小。此相差的質量稱之爲原子核的結合能，以B表示之爲

$$B=(m_pZ+m_nN-M)c^2$$

式中m_p爲一質子的質量，m_n爲一中子的質量，Z是原子序數，N是中子數，c是光速。

此結合能可由愛因斯坦質能互換公式解釋之。卽當有Z個質子及N個中子結合成一原子核時，有能量B釋放出來。反而言之，如欲將此原子核擊破而成獨立之Z個質子及N個中子時，需加能量B之功方有可能。此所需的能量等於其結合時所放出的能量。在計算核之結合能時常用質量欠缺（*mass defect*）及緊束分數（*packing fraction*）來討論。質量欠缺的定義爲同位素質量與其整數的質量數之差。緊束分數則爲每一核子之質量欠缺。

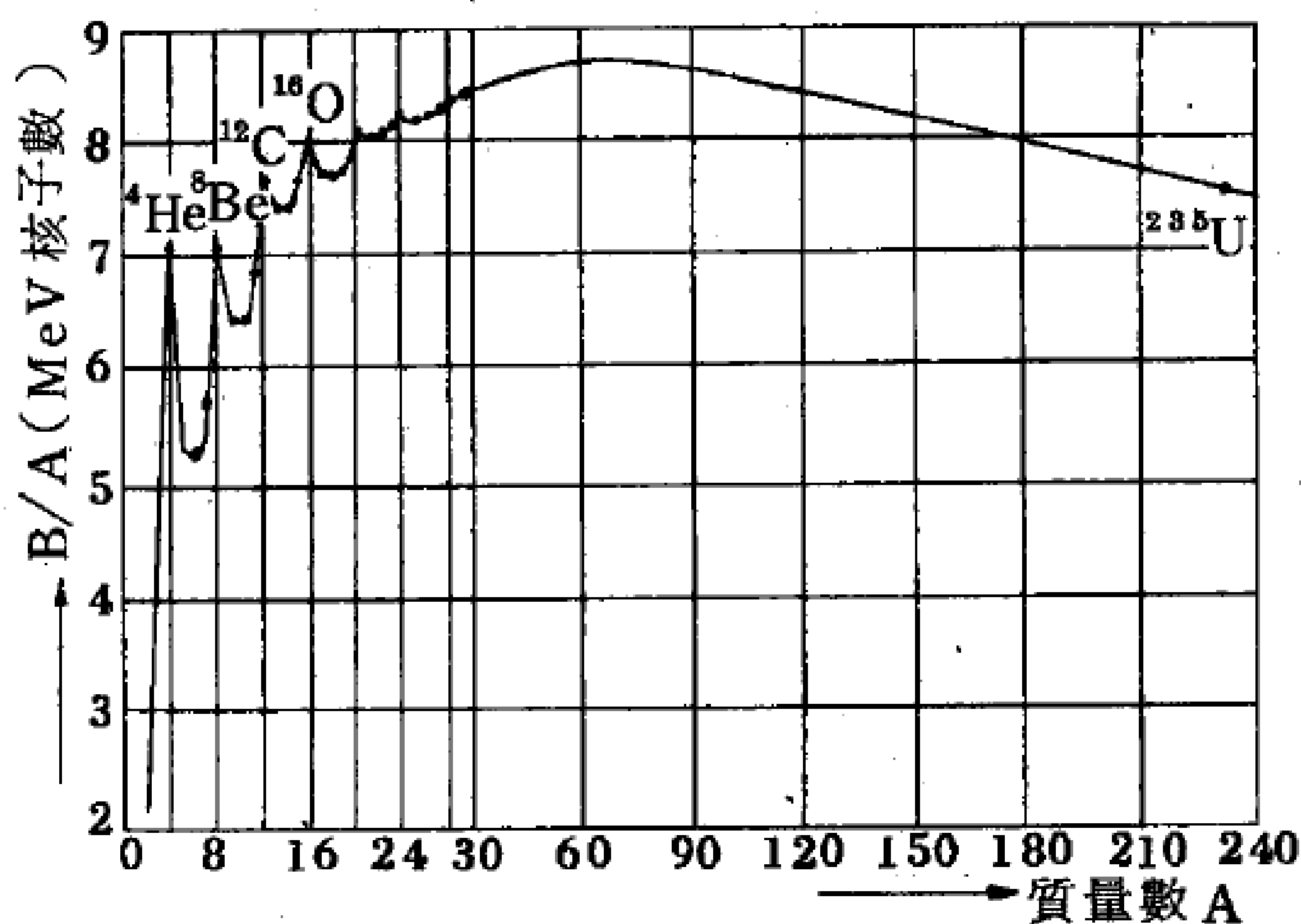


圖 12－209

結合能愈大的原子核其結合愈緊密，要想使其核子分離所需加的能

量也愈大。每一原子核的結合能均不相同。原子核的結合能被其組成中子與質子的總數除後所得的能量稱之為平均每核子的結合能。圖 12—209表示平均每核子的結合能（ B/A ）隨 A 變化的情形（ A 為質子與中子的總數）。由圖 12—209 可得到下面幾個結論：

1. 所有原子核的結合能均為正數，這表示作用於核子間的核力是吸力。

2. 很輕的原子核結合能很小，隨後逐漸增大，當 $A<32$ 及 A 為 4 之倍數時有相對極大之 B/A 值，如 ^4He，^8Be，^{12}C 及 ^{16}O 等。

3. 當在 $A=40$ 至 90 之間時，B/A 值最大；當 $A>90$ 時，此值又隨 A 之增加而逐漸減小。

4. 除很輕原子核（ $A<20$）外，當 $A>20$ 後，B/A 值大約為一常數（在 7.5 與 8.5之間變化），這表示每一核子僅與有限數目的相鄰核子互相作用，也說明核力具有飽和（ *saturation* ）性質。

幾個輕原子核的結合能與 B/A 值

原子核	質量（*amu*）	B（MeV）	B/A
^2H	2.014102	2.225	1.113
^3H	3.016050	8.482	2.827
^3He	3.016030	7.717	2.572
^4He	4.002603	28.295	7.074
^5He	5.012296	27.338	5.468
^{10}B	10.012939	64.749	6.475
^{13}C	13.003354	97.107	7.470
^{13}N	13.005739	105.284	8.099
^{14}N	14.003074	104.657	7.476

由圖 12—209 可知當重原子核（ $A>230$ ）分裂成兩個大小約相等的中重原子核時，其總結合能恆有增加的趨勢。換言之，此分裂過程恆有總質量減少的現象。此減少質量即轉換成可資利用的核能。例如對

原子核 ^{235}U 而論，每分裂過程所放出的總能量約有 200 MeV。

【結晶水】(Water of crystallization)

物體結晶中所有之水謂之結晶水。

【結晶排列】(Crystalline array)

假定降低水滴的溫度和水分子跳動的速度，由於原子間有吸引力，所以在一段時間以後，它們將會跳動得緩慢些。圖 12 — 210 所示爲水在低溫下的情況。水分子連成一種新的型式，那就是冰。

此時物體裏每一個原子都有固定的位置。因爲每一原子有固定的位置，故若確知這粒冰一端的原子，可以很輕易地推測出另一端原子的正確位置。如果握住冰條的一端，得用力才能折斷它。這跟液態水不同，在液態下水分子的跳動極大，所以液態水的結構可以很輕易地改變或流動。於是我們發現了固體和液體的不同，就是固體中的原子是依某一定方式排列，稱爲結晶排列。它們永遠有一定的結構和位置，因此，就一晶體而言，一端原子的位置可由他端的原子所決定，即使兩者之間相隔幾百萬個原子。圖 12 — 210 是冰的一種想像排列，雖然它具有很多冰的正確特性，但並不是實際上的排列。冰的一個明顯的特性，是它具有正六角形對稱。如果我們把這幅圖繞一個軸轉 120° ，這幅圖的形狀不變。所以雪片一定成六角的對稱形狀。另外一件可由圖 12 — 210 觀察得知的事是爲何冰在熔化時會收縮？冰的結構，裏面有許多空隙。當分子結構破壞，這些“洞”就被分子充滿了。除水和活字金外，絕大部分的物質熔融時，都會膨脹。這是因爲固體分子結構，一般來講是比較緊密的，一旦熔融就需要較大的空間來跳動。但是冰分子因爲具有較大的空隙，一旦熔化，有空隙的架狀結構就會崩潰，而使體積收縮。

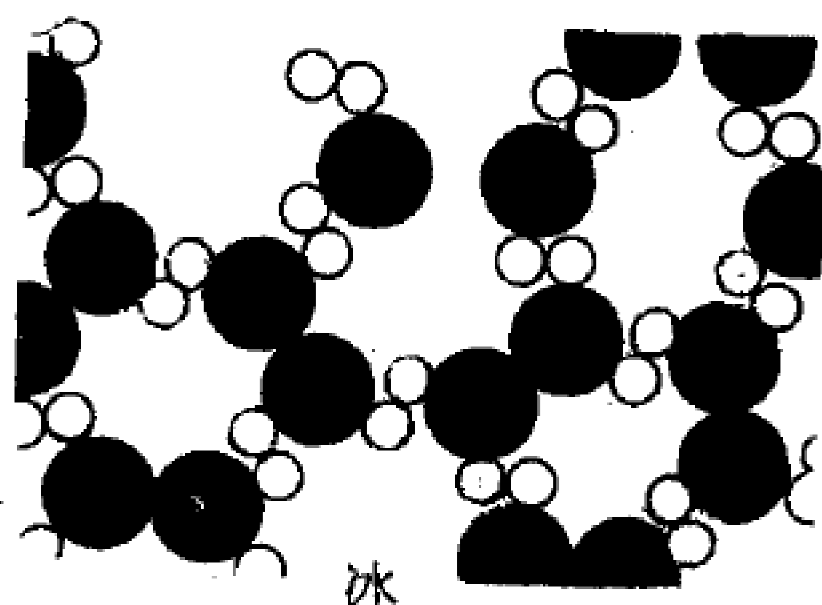


圖 12 — 210

雖然冰有剛體的（ *rigid* ）結晶形式，冰的溫度仍然會變，因它仍然含有熱。冰中所含的熱是由於原子永遠不能靜止不動，它們必須跳動和振動不息，所以即使是原子排列有一定的次序之晶體（即有一定的原子結構），其中的原子仍然要振動不已，不過只在它們的固定位置上振動罷了。當溫度升高時，它們的振幅（ *amplitude* ）就愈來愈大，直到脫離原有的位置爲止，這就叫做熔融。若溫度降低，振幅漸漸減小，直到絕對零度（ *absolute zero* ），原子的振幅到了極小，但仍不是完全靜止。這時原子的運動振幅都不足以使物質熔融，只有一個例外即氦。氦原子的運動可以不斷地減小，但即使在絕對零度，仍有足夠的能量使它不致凝固。除非我們把壓力一直加大到硬使原子壓在一起，這樣才可以使它凝固。

【結構因數】（ Structure factor ）

在X光晶體繞射中，結構因數$F(hkl)=\sum_n f_n \exp 2\pi i\left(\frac{hX_n}{a}+\frac{kY_n}{b}+\frac{lZ_n}{c}\right)$，其中$X_n$，$Y_n$，$Z_n$爲第$n$個原子在單位晶胞的坐標，其維度爲$a,b,c$。$f_n$是第$n$個原子的散射因子。

【結點定理】（ Junction theory ）

圖 12—211 所示含有二廻路之電路。爲簡單計免計電池的內電阻，其中有二結點（ *junction* ）b和d，三支路（ *branch* ）連接此二結點。這些支路爲左支路bad、右支路bcd和中支路 bd。

如圖 12—211 示各支路中的電流標爲i_1、i_2和i_3。由b至d之左支路的任何截面上電流i_1有相同值，同樣在右支路中各處i_2有相同值，中支路的i_3亦然，電流方向可任意選定。

三電流i_1、i_2和i_3帶電荷或向結點d或離開結點d。因電路在穩定狀態，電荷不會聚積於結點d，亦不會由此結點流失，電流由此結點移去電荷的速率必與帶進結點者相同。若隨意取流向結點的電流爲正而離

開結點者爲負，則

$$i_1 + i_3 - i_2 = 0$$

此式提供解多廻電路的一般原理，稱爲結點定理：在任何結點，電流的代數和必爲零。此定理僅是電荷守恆的陳述，因此解電路的基本工具爲能量守恆和電荷守恆。

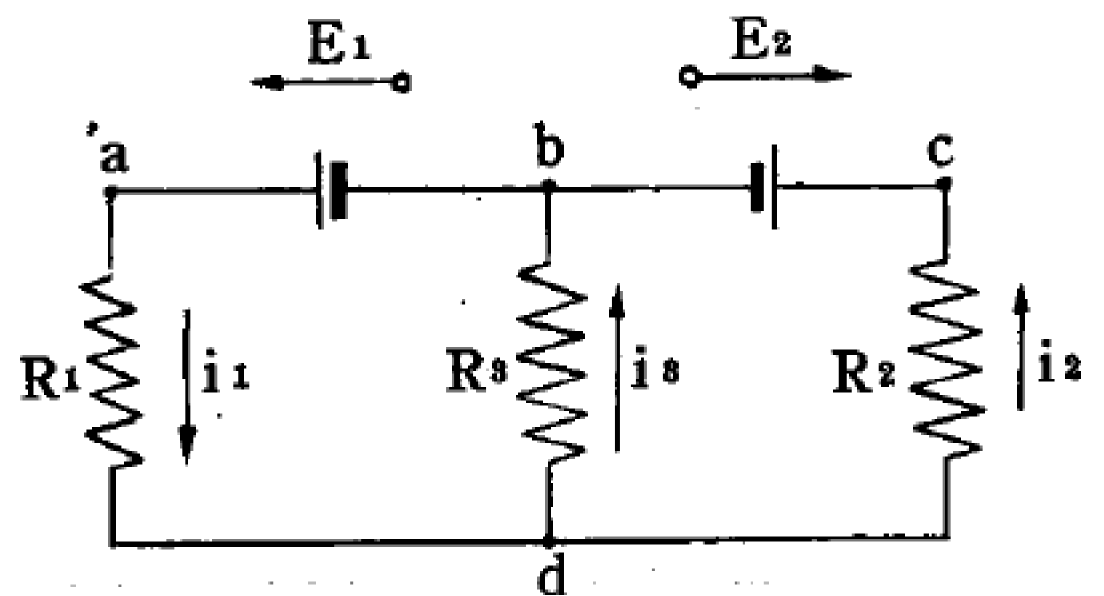


圖.12—211 多廻電路

對於圖 12—211 之電路，結點定理僅供三未知數間之一關係式，在結點 b 應用此定理將得到完全相同的方程式。爲解三未知數，還需二獨立方程式；由廻路定理可得之，廻路定理是說：在一封閉廻路裏，所有電壓的總和必爲零。

在單廻電路中只有一導電廻路可應用廻路定理，且在此廻路內任何部分的電流均相同。多廻電路中有一個以上之廻路，並且任一廻路的各部分之電流通常不同。

若反時針方向循圖 12—211 中之左廻路，由廻路定理得

$$E_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0$$

由右廻路得

$$-i_3 R_3 - i_2 R_2 - E_2 = 0$$

此二式與先前由結點定理所導出的方程式爲解 i_1 、 i_2 和 i_3所需之三聯立方程式。解之得

$$i_1 = \frac{E_1(R_2+R_3) - E_2R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3}$$

$$i_2 = \frac{E_1R_3 - E_2(R_1+R_3)}{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3}$$

及

$$i_3 = \frac{-E_1R_2 - E_2R_1}{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3}$$

上式表示無論電動勢和電阻的數值如何，電流 i_3均爲負値，意即在圖 12

—211中恆指向上而非如故意標示之向下。依已知數值的不同，電流 i_1 和 i_2 在兩方向均有可能。

【絕對水平線】(Absolute horizon)

液體在靜止時的表面位置，如水的水平面。

【絕對介質係數】(Absolute medium coefficient)

電荷密度與電場強度成正比，即 $Q/A = \varepsilon_0 E$。ε_0 稱爲絕對介質係數。若 Q 以庫倫，A 以平方厘米而 E 以伏特／厘米表示時，則 ε_0 之大小即 $\varepsilon_0 = 8.86 \times 10^{-14}$ 庫倫／伏特 - 厘米

【絕對光度】(Absolute luminosity)

恆星距地球與太陽相同（一天文單位，即 9.3×10^7 哩）時之亮度，稱爲各該恆星之絕對亮度或光度。

【絕對安培】(Abampere)

$C.G.S.$ 制中的電流單位，常以簡寫 emu 表示。

$$1\ emu = 10\ ampere$$

【絕對折射率】(Absolute index of refraction)

任何物質在眞空中的折射率，即光從眞空中射入該物質中時的折射率，稱爲該物質的絕對折射率。

若 v_1 及 v_2 爲波在物質中傳播之速度，相對折射率表爲

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

取一特殊介質作爲參考或標準，而以 c 表在該介質中波傳播之速度，任何其他介質之絕對折射率定義爲

$$n = \frac{c}{v}$$

對電磁波而言，參考介質爲眞空，故 $c \approx 3 \times 10^8$ 米/秒 。

考慮二種物質，可得

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{c}{v_2} \times \frac{v_1}{c} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

故二物質之相對折射率等於其絕對折射率之比。

【絕對垂直】(Absolute vertical)

放射線如鉛錘所示，而經過地球中心的爲絕對垂直線，此線是與水平面成直立的位置。

【絕對重量】(Absolute weight)

永遠是某一任何數量質素之實際重量者，稱爲絕對重量。而

絕對重量＝體積×比重

當計算絕對重量時，需注意其中的重量單位，必須永遠與體積單位相適應，例如由 mm^3 永遠得出 mg ，由 cm^3 永遠得出 g 等等。

【絕對星等】(Absolute magnitude)

因恆星亦如太陽，約如同黑體 (如加熱的黑鐵球) 的放射，以全波長放出能量。如由一星球以全波長放出全能量爲已知，則其亮度卽說明其溫熱星等。在實際上，星球等級亦常由光電管或由目視光度計或觀測照相底片上的影像測定之。此三種星等及前述表觀星等均爲相對星等。絕對星等則爲由星球本身的光度測出，不計其距離的遠近；而前述的表觀星等則依距離遠近而定。

表觀星等範圍的尺度爲自－26.7 (太陽) 至200吋望遠鏡所能測到最暗的星等＋24。這星等的大範圍由二個因數決定之：卽星球本身光度，及由地球至星球的距離。例如太陽比其他任何恆星爲最接近於地球的，並因此由地球視之，較其他星球爲光亮。

爲欲比較星球本身的亮度，必須由其表觀星等消除距離的因數。爲此吾人計算一星球的星等，須先規定由地球至該星球距離的標準。所謂一星球的絕對星等，乃爲太陽系至星球距離假定爲在 10 秒差距 (*psc*) 時之表觀星等。

太陽或星球輻射的強度，依其距星源的距離平方而反比。如太陽距地球兩倍遠時，則其視光度將爲$\frac{1}{4}$。10秒差距標準距離等於 2×10^6 天文單位，故太陽在10 *psc* 距離的視亮度爲在1天文單位時亮度的$\frac{1}{(2\times10^6)^2}$。如一星球光亮強度減低次之倍數：$(2 \times 10^6)^2 = 4 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100$，則星球等級減爲

$$1.5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 = 31.5 \text{星等}$$

所以太陽的絕對星等爲

$$-26.7 + 31.5 = +4.8 \text{星等}$$

次須注意者，在1.3 *psc* 距離處半人馬座星球具有0等的表觀星等。在10 *psc* 處其距離將較大 10/1.3 = 8 倍，其光度將依 $(8)^2$ 即 64的因數而減小，即相當於4.5 星等。

太陽和半人馬座 α 星間距離比 10 *psc*爲近，故其絕對星等比表觀星等爲暗，但大多數星球的距離都比 10 *psc*爲遠。例如室女星（*Spica*，或 α *Virginis*）具有視差0″.02，表觀星等爲＋1.2。

絕對星等的測定法步驟列之如次：

1. 室女星的距離爲 1／0.02 ＝ 50 *psc*。
2. 於是室女星球距離比 10 *psc* 遠 5 倍。
3. 室女星在距離 10 *psc* 的亮度比在 50 *psc* 的亮度大 $(5)^2$ 即 25 倍。
4. 星等的相當變動約爲 3.5。
5. 因室女星在 10 *psc* 時比在50 *psc* 時爲亮，其差 3.5 星等必須由其表觀星等中減去：

$$M = m - \Delta m = +1.2 - 3.5$$
$$= -2.3 \text{星等}$$

故室女星的絕對表觀星等爲－2.3。

參閱“表觀星等（*Apparent magnitude*）”條。

【絕對高度】(Absolute height)

自地面至飛行物的垂直距離。

【絕對庫侖】(Abcoulomb)

係電荷單位，定義爲 10 *C*，*C* 表示庫侖。當電荷以絕對庫侖，則力以達因，距離以厘米表示。

【絕對參考系】(Absolute reference system)

早期物理學家，認爲有一特定參考系存在，此參考系有超過所有其他參考系之基本優點，即所謂絕對參考系。就在此系中對靜止觀察者而言，物理量均有“眞實”值或“絕對”值。這種觀點現已被放棄，因數十年來以實驗尋求此絕對參考系之努力均告失敗。

【絕對單位】(Absolute units)

單位的定義所涉及之任意標準 (如氪的波長、地球公轉的週期等) 用公認的基本單位予以定義的單位。例如牛頓是*M.K.S.*制中力的絕對單位，因爲它被定爲“仟克米/秒^2”，只用到仟克、米、秒等基本單位。只出現於基本單位的定義中，而不引入其他任意標準，因此所定義的值不因觀測者在宇宙中的位置而異，故稱爲絕對單位。再以力爲例，磅重或仟克重便非絕對單位，它們決定於地球在特定位置對標準質量所施的重力，因而其值沒有絕對性 (它們被稱爲力的重力單位)。

【絕對單位制】(Absolute system of units)

一般物理定律是用以描述各種物理性質的物理量間之關係。而各量大小得以比較，有賴共通的基本標準單位。因此，我們必須建立統一、國際化，且可複製的標準單位制。力學是科學史上首先發展成有數學一致性的科學，它所選擇的三項基本物理量是長度、質量和時間。這三量所訂定的基本單位可用來表示所有其他的物理量。重要的單位制有厘米、克、秒 (*C．G．S．*)，呎、磅、秒 (*F．P．S．*) 和米、仟克、秒 (*M．K．S．*) 等單位制。

【Ⅰ】厘米、克、秒單位制

1. 長度——長度的單位是厘米（ *centimeter* ），厘米是一米（ *meter* ）的百分之一。根據最初的定義，一米是通過巴黎的子午線自地球北極至赤道間距離的 $1/10^7$。是測量鄧克爾克（ *Dunkirk* ）至巴塞隆納（ *Barcelona* ）兩地間的實際弧長，再由此計算地球的圓周長度。結果製成標準米，但後來的測量發現與原始定義稍有出入，所以又改用鉑（ *Pt* ）、銥（ *Ir* ）合金（ 90％鉑、10％銥 ）製成截面爲 *X* 型的棒型米原器，剛性極大。棒兩端各刻有一條橫線，定此二標線間的距離在 0°C 時即爲一米。此國際標準米原器現存放於巴黎附近塞弗爾（ *Sevres* ）的國際度量衡局（ *International Bureau of Weight and Measures* ）內。

目前許多國家已擁有標準米原器的複製品。英國的複製米尺現由國家物理實驗室負責保管。此複製品曾在 1922 年直接與米原器作了一次比較，1949 年又間接的比較了一次，結果誤差均在 $1/10^7$ 之內。

由於各種物質都有隨年代而變形的可能。因此，多年來很多物理家一再建議標準米應以一種純同位素所放出的輻射波波長爲量度標準。終於在 1960 年十月，在巴黎舉行的國際度量衡大會決議重新定義標準米爲質量數 86 的氪（ *Kr* ）原子的 $2p_{10}$ 與 $5d_5$ 能階之間在眞空中躍遷時放出的輻射波波長的 1,650,763.73倍。此新標準米的準確度可經常維持在 $1/10^8$ 之內。

2. 質量——質量的單位是克（ *gram* ），爲仟克（ *kilogram* ）的千分之一，一仟克原先是一鉑製圓柱體的質量，原意欲等於4°C，1,000 立方厘米純水的重量。不幸此定義涉及長度單位，後來的量度顯示標準質量原器等於1,000.028立方厘米純水的質量。1889 年，國際度量衡局以鉑（ 90％ ）、銥（ 10％ ）合金製成一高度等直徑的圓柱形標準仟克原器。此新標準仟克原器現亦存放於塞弗爾。

3.時間——時間單位以地球自轉爲根據。太陽日（ *solar day* ）是太陽相繼二次通過地球某子午線的時間間隔。由於地球繞日公轉的軌道爲橢圓，地球在各點的速度不一，因此太陽日隨季節而有所改變。乃將一年中所有太陽日平均，定義爲平均太陽日。時間的絕對單位是秒（ *second*），定義爲一平均太陽日的 1/86,400。以地球自轉而訂定的時間稱爲世界時（ *universal time* ）。

天文學家常使用恆星日（ *sidereal day*），所謂一恆星日是某恆星連續兩次經過同一子午線所經歷的時間。由於地球距恆星太遠，地球在橢圓軌道上運動對恆星的時間差異幾乎可忽略不計。

以石英晶體振盪器製作的時計已有多年歷史，這種時計的計時相當均勻，其誤差都在 $1/10^{10}$ 內。用石英晶體鐘，發現地球的轉動週期有季節性的變化，其變化的大小爲微秒之數級，還有可能因潮汐摩擦而年年改變，據估計在過去數年間天文時間單位已改變 10^{8} 分之 7。近代科學需要精密的計時單位，1956 年國際度量衡會議根據地球的公轉重新定義秒，以 1900 年的回歸年間的 1/31,556,925.9747爲一秒。回歸年的定義是地球相繼兩次經過春分點（ *vernal equinox* ）時間間隔，約在每年五月二十一日地球經過春分點。這種以地球公轉所定義的時間，稱爲星曆時（ *ephemeris time* ）。

兩隻標準石英鐘現裝設在英國國家物理實驗室，其研究發展過程中各階段的成品並列一室。1955 年該實驗室又完成了一種以銫（*Cs*）原子譜線的頻率爲基礎的新型時鐘。此頻率是一基本的原子常數，並不爲外來因素所干擾。1967 年在巴黎召開的第十三屆度量衡會議採取銫原子鐘的秒爲國際標準，此量之準確度約爲 $1/10^{11}$。

【Ⅱ】呎、磅、秒單位制

呎、磅、秒是大英國協和美國工程界所常用的單位制。這是原以長度、重量和時間爲基本量的實用單位制。

一呎（ *foot* ）等於三分之一碼（ *yard* ）。碼是1878 年度量衡法案所定義的長度單位，一碼等於溫度在62°*F*時，英國法定標準碼（*Imperial Standard Yard*）的銅棒上，兩金栓上的中心橫線之距離。

在1895 年英制和米制單位曾作比較，結果爲1米＝39.370113 吋。1898 年才正式採用此數字。最近的量度顯示自1895 年以後英國法定標準碼已縮短約 $2/10^6$ 。

在美國，定義碼爲一米的3,600／ 3,937 倍。

英國法定標準磅（ *pound* ）是一鉑製圓柱體，其直徑稍小於高度，側面有一環形淺溝以裝置象牙質提把。

美國的法定磅定義爲0.4535924277 仟克重。

【Ⅲ】米、仟克、秒單位制

所有目前牽涉到國際公認的基本單位的有關事項均由國際純粹和應用物理協會（*International Union of Pure and Applied Physics*）所屬的符號、單位和術語委員會（*Commission on Symbols Units and Nomenclature* ）處理。該委員會首先在1935 年，又在1948 年建議應以米和仟克定爲國際間長度和質量的基本單位。單位力是將質量爲一仟克的物體加速至1米／秒^{2}所需的力，此單位力稱爲牛頓（*newton* 等於 10^5 達因）。功和功率的單位是焦耳（*joule*）和瓦特（*watt*）。該委員會又推薦第四種絕對單位，一種電的單位。國際電力技術委員會第24 次會議於1950年七月決議安培（ *ampere* ）爲第四種單位。

這種提議的原委是要消除過去三種常用的厘米、克、秒靜電（*C.G.S. electrostatic* ）制，厘米、克、秒電磁（*C.G.S. electromagnetic*）制，和實用（ *practical* ）制單位時間換算時所造成的雜亂現象，以及在電磁理論中單位混合使用時的因次不符現象。厘米、克、秒靜電制單位是根據定義一單位電荷爲距另一等量相同電荷一厘米（在眞空中）處即受一達因（*dyne*）之推力而來。這相當於將庫倫定律

中的比例常數定爲一，且無因次。所以在此制中的電荷因次爲$M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}$ 。

厘米、克、秒電磁制單位是由庫倫的磁極定律而來，定義單位磁極與電荷相似，因此其因次亦與靜電系電荷因次相同。電磁制的單位電流定義爲流過一半徑爲一厘米的圓形線圈，對置於圓心處的單位磁極施以 2 π 達因力的電流。電荷爲單位時間所流過的電流，所以電磁制電荷的因次即爲 $M^{1/2}L^{1/2}$ 。因此靜電制的電荷對電磁制的電荷之比因次爲 LT^{-1} ，即是速度的因次。現已熟知電磁理論導出此速度即電磁波在眞空中行進的速度。

由於上述兩種單位制在實用上常感不便，因此發展第三種實用單位制，實用單位制乃是將電磁制（ *emu* ）各單位乘以 10 的冪次而成。這些單位（庫倫、安培、伏特、歐姆、亨利）與焦耳、瓦特聯合而成一致性的單位制。

國際電力技術委員會所推薦的單位（常稱爲*M.K.S.A.*單位制）乃是根據實用單位稍加修改而成。以後，國際電力技術委員會又提出有理化單位（ *rationalized units* ），即在庫倫定律的常數中，將分母加上因數 4 π 。例如兩電荷（庫倫）間的作用力（牛頓）可寫爲：

$$F=\frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

同樣，兩磁極間的作用力爲

$$F=\frac{m_1m_2}{4\pi\mu_0 r^2}$$

有些學者認爲作用於磁極的力應該是$\overrightarrow{B}$而非$\overrightarrow{H}$，所以將 μ_0 寫在分子上。不過無論是何觀點，電磁理論的發展導出的電磁波速度 $c=1/\sqrt{u_0\epsilon_0}$ ，其值約 3×10^8 米／秒。常數 μ_0 值爲 $4\pi\times10^{-7}$ 亨利／米，常稱之爲自由空間的磁導率（ *permeability* ），乃爲使亨利仍爲電荷的單位而定此值。自由空間的電容率（ *permittivity* ）ϵ_0值經測定爲 8.854×

10^{-12} 法拉／米。ϵ_0值可由實驗方法量取平行板電容器（*parallel plate condenser*）的電容率，在M.K.S.A. 單位制爲 $\epsilon_0 A/d$，此處A是板的面積（米^2），d是板的間隔（米）。

M.K.S.A.單位制具有完全的自相一致性。凡電量與磁量相關的方程式其因次正確無誤且不包含任何換算因數。第四種絕對單位安培，乃相距一米的兩平行導線，電流在線上同向流動時，導線每米長能產生 2×10^{-7}牛頓的吸引力，定此電流爲一安培。用電流天平可實際測得安培。下表是上述M.K.S.單位制與舊的C.G.S.單位制的換算因數。

物理量	M.K.S.單位制	C.G.S.單位制	M.K.S.制變爲C.G.S.制的換算因數
長度	米	厘米	10^2
質量	仟克	克	10^3
時間	秒	秒	1
力	牛頓	達因	10^5
功	焦耳	爾格	10^7
功率	瓦特	爾格／秒	10^7
電荷	庫倫	絕對庫倫 靜庫倫	10^{-1} 3×10^9
電流	安培	絕對安培	10^{-1}
電位	伏特	絕對伏特 靜伏特	10^8 1/300
電場	伏特／米	靜伏特／厘米	$1/3 \times 10^{-4}$
電位移	庫倫／米^2	靜庫倫／厘米^2	$12\pi \times 10^5$
電感	亨利	厘米	10^9
電阻	歐姆	絕對歐姆	10^9
電容	法拉	厘米	9×10^{11}

磁場(H)	安培匝／米	厄司特	$4\pi \times 10^{-3}$
磁感應	韋伯／米^2	高斯	10^4
磁通量	韋伯	馬克士威	10^8
磁化強度	韋伯／米^2	高斯	$10^4/4\pi$
磁矩	韋伯米	高斯厘米	$10^{10}/4\pi$

【絕對黑體】(Absolute black-body)

凡能將入射的輻射能毫無保留地加以吸收的物體，均稱爲絕對黑體。我們只要將一物體以碳煙塗黑，並使其獲得一粗糙之表面，即可接近絕對黑體的理想情況。

圖 12—212 乃是此類物體之示意：這是一個具有微小孔穴 a，以及內部設有遮光板 b 的空心球體，其內壁係用碳煙徹底塗黑過的。每一通過 a 穴射入的輻射能，均能近乎百分之百地被內壁所吸收(此項吸收工作乃由內壁上所塗的碳煙所擔任)；萬一仍有任一射線被反射而回時，則該射線亦可由遮光板再度反射至另一地點而被該處所吸收。此一過程反覆地延長下去，直至不再有任何射線向外洩漏爲止！這樣一來，一個理想的黑體就形成了。這一基本觀念，看來似乎是可笑的，但它卻適當地表示出如下的一樁事實，即宇宙間沒有一樣東西會比一個黑暗的孔穴更爲黑暗的了！我們倘令一個這樣的空心球體到處取得相等的高溫度，則它便會成爲一個理想的能之輻射體。由此而發生的輻射作用，稱爲空腔輻射(*cavity radiation*)。於是，我們只要藉助於一熱電偶(*thermo-couple*)，即可量出所放射能之多寡，並可準確地測得其在每一波長區域內之分佈情形。

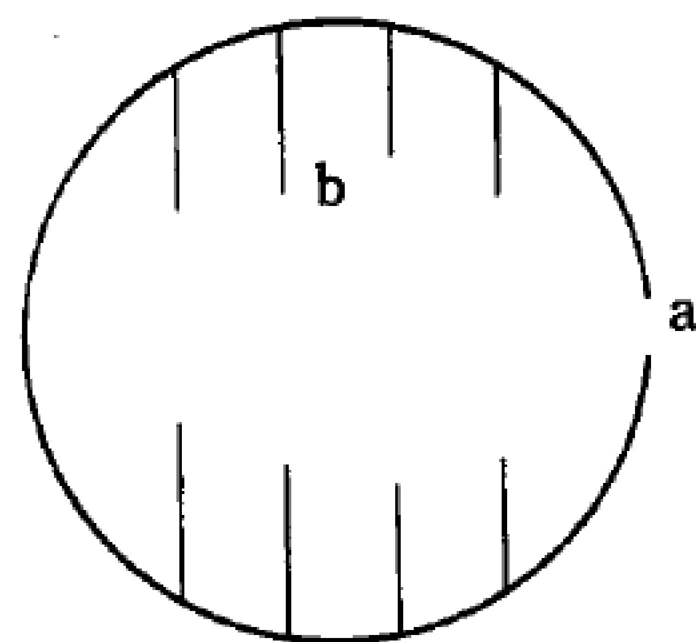


圖 12—212

【絕對溫度】(Absolute temperature)

一理想氣體之絕對溫度 T 定義爲與一分子之平均動能成正比，以關

係式表爲

$$E_{k,ave}=\frac{3}{2}kT \quad 或 \quad kT=\frac{1}{3}mv^2_{rms.}$$

比例係數選爲$\frac{3}{2}k$，此k爲一普遍常數稱爲波玆曼常數（*Boltzmann constant*）。上式很明顯地介紹二個新量，k及T，而可任意選擇其中一個。然而，遠在知道溫度與平均分子動能之關係前，物理學上早已採用溫度一量，因此，雖然現在溫度之合理單位似可能爲焦耳／質點，但物理學上以其他單位表示溫度之習慣已淵遠流長。絕對溫標之單位稱爲克耳文（*kelvin*），以K表之。此溫標在正常大氣壓下，冰之熔解溫度爲273.15°K，而水之沸騰溫度爲373.15°K，因此二溫度相差100°K。攝氏（*Celsius*）溫度定義爲

$$\theta_c=T-273.15\ ^\circ K$$

而其單位稱爲“度攝氏”，以°C表之。實際上，一克耳文相當於1°C。

當能量$E_{k,ave}$以焦耳表之而溫度用克耳文表示時，波玆曼常數之值爲

$$k=1.3805\times10^{-23}焦耳K^{-1}$$
$$=8.6178\times10^{-5}eVK^{-1}$$

因一克耳文約相當於

$$2\times10^{-23}焦耳$$

或

$$1.3\times10^{-4}eV（每質點）$$

一含N質點之理想氣體之總內能爲

$$U=NE_{k,ave}=\frac{3}{2}\ kNT$$

可見總內能僅視氣體之溫度而定，但實際氣體並非如此，因其位能視內分子之距離而定。亦即視體積或氣體之密度而定。

絕對溫度的觀念可用卡諾定理（*Carnot theorem*）來推導。設一卡諾機運轉於溫度爲θ_1和θ_2（$\theta_1>\theta_2$）的兩個熱庫（*heat reser-*

voir)之間，卡諾定理說這個卡諾機的效率η_C與其工作物質無關，那麼η_C最多只是溫度θ_1和θ_2的函數罷了

$$\eta_C = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \eta_C(\theta_1, \theta_2)$$

所以

$$\frac{Q_1}{Q_2} = f(\theta_1, \theta_2) \qquad (1)$$

f爲一未定函數。同理，如果另有一個卡諾機運轉於θ_2和θ_3($\theta_2 > \theta_3$)之間，而從熱庫θ_2吸收Q_2的熱量，向熱庫θ_3放出Q_3的熱量，則依上述的推論

$$\frac{Q_2}{Q_3} = f(\theta_2, \theta_3)$$

若將以上兩個卡諾機的聯合運轉，視爲一個操作於θ_1和θ_3之間的卡諾機，則又有下列的關係式

$$\frac{Q_1}{Q_3} = f(\theta_1, \theta_3)$$

聯合上列三個式子，我們發現f函數應滿足

$$f(\theta_1, \theta_2) = \frac{f(\theta_1, \theta_3)}{f(\theta_2, \theta_3)} \qquad (2)$$

的關係。左式內沒有任意變數θ_3，所以它在右邊的分式內也應該被消去。由此可以推知，滿足(2)式的函數只有

$$f(\theta_1, \theta_2) = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_2)}$$

因此，由(1)式

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_2)}$$

ϕ是一個未定函數，僅僅是溫度的函數而與物系的性質無關。利用這個關係式，我們可以定義絕對溫度如下：令$\phi(\theta) = kT$；k爲常數，T即絕對溫度以°K爲單位。如此則

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \qquad (3)$$

T 與以前所定的理想氣體溫度有一個固定的函數關係。這個關係不因卡諾循環所用的工作物質不同，而有所不同。再取水的三相點爲參考溫度，定它爲 $273.16°K$。則由上式得

$$T = 273.16 \frac{Q}{Q_0} °K \qquad (4)$$

卽一個物系的溫度，可以用任何一個卡諾機做溫度計；使卡諾機運轉於物系和溫度爲 $273.16°K$ 的熱庫之間，量得吸收與釋放之熱流的比值 $\frac{Q}{Q_0}$，代入上式，卽得該物系的絕對溫度。

從絕對溫度的定義，我們可以導出幾個推論：(1)絕對溫度的定義和物系的性質無關，只是熱動平衡時的一種共同性質；(2)根據（4）式的定義，物系的絕對溫度恆爲正數，這是因爲我們定 T_0 爲正的關係，如果我們定 T_0 爲負，則物系的絕對溫度都是負的；(3)當 $Q = 0$ 時，物系的溫度爲 $0°K$，這個溫度叫做絕對零度（*absolute zero*）。實驗上，第二定律無法定義 $T = 0$ 這一點。因爲從第二定律導出的(4)式，並沒有肯定具有 $T = 0$ 的熱庫存在。實際上，這種熱庫是不可能獲得的，所以 $T = 0$ 沒有運作定義的意義，只能夠算是一種極限。絕對溫度的定義比理想氣體溫度的定義要好得多了。因爲它與物質的特殊性質無

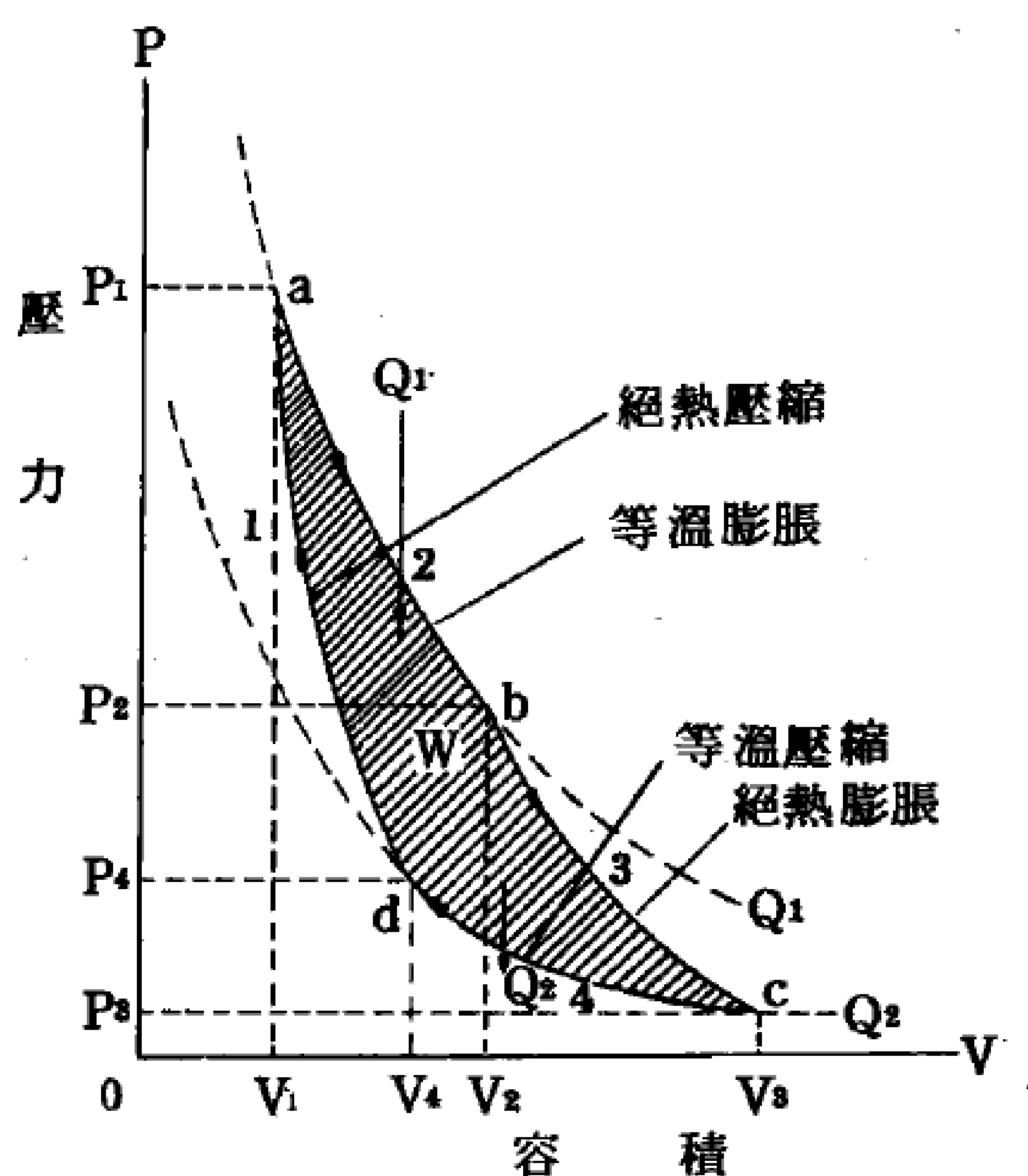


圖 12 — 213
理想氣體的卡諾循環

關，而我們也確可以造出相當準確的卡諾機，用以量低於 1°K的溫度。這是理想氣體溫度的定義所達不到的地方。

實際上，絕對溫度和理想氣體是完全相等的。

設有一卡諾機，以理想氣體為工作物質，運轉於理想氣體溫度為 θ_1 和 θ_2 的兩個熱庫之間。如圖 12 — 213，由於理想氣體在一準靜的等溫過程對外界所作的功為

$$\Delta W = \int_{V_i}^{V_f} P(v)dv = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nR\theta}{v} dv = nR\theta \int_{V_i}^{V_f} dv = nR\theta\, ln \frac{V_f}{V_i}$$

故 $$Q_1 = nR\theta_1\, ln \frac{V_2}{V_1} \qquad Q_2 = nR\theta_2\, ln \frac{V_3}{V_4}$$

因理想氣體滿足狀態方程式 $PV = nR\theta$ 。故兩式相除得

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\theta_2}{\theta_1} \frac{ln \frac{V_3}{V_4}}{ln \frac{V_2}{V_1}} \qquad (5)$$

在絕熱過程中，理想氣體滿足下列的方程式

$$PV^{\gamma} = \text{常數} \qquad \gamma \equiv \frac{C_P}{C_V}$$

所以 $$P_4V_4{}^{\gamma} = P_1V_1{}^{\gamma} \qquad P_2V_2{}^{\gamma} = P_3V_3{}^{\gamma}$$

或將理想氣體狀態方程式代入，而寫成

$$nR\theta_2V_4{}^{\gamma-1} = nR\theta_1V_1{}^{\gamma-1} \qquad nR\theta_1V_2{}^{\gamma-1} = nR\theta_2V_3{}^{\gamma-1}$$

兩式相除

$$\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$$

或用對數表示（ $\gamma - 1 \neq 0$ ）

$$ln \frac{V_3}{V_4} = ln \frac{V_2}{V_1}$$

代入（ 5 ）式，即得

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

與(3)式比較，即有

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

又兩種溫度計標，都是水的三相點爲 273.16°K。所以

$$\theta = T$$

所以一般都用T來代表溫度，而不區別絕對溫度與理想氣體溫度。

參閱“絕對零度(*Absolute zero*)”條。

【絕對零度】(**Absolute zero**)

在分子動力學裏說：組成萬物的分子，不斷在進行著無規的運動我們稱之爲熱運動(*thermal motion*)，而溫度代表的正是系統中分子的總動能。溫度逐漸降低時，分子運動逐漸停頓。若分子全面靜止，豈不是說溫度已降至最低的極限？事實上，量子力學告訴我們：任何粒子不可能完全停止運動，它的動能也有最低的極限，所以不能完全達到此值，而且所有氣體不待到達－273.15°C就已液化。當系統內全部分子的動能都趨近這極限時，我們說這系統的溫度趨近絕對零度。絕對零度等於攝氏－273.16 度；爲了使計算方便，科學上普遍應用的是絕對溫標：絕對溫度(°K)等於攝氏溫度(°C) 加上273.16 度。

現在除了絕對零度外，僅有一固定點獲得國際制定爲標準溫度，那是水的三相點(*triple point*)，1948 年測定爲273.16°K，即絕對零度上273.16 度。當蒸氣壓等於一大氣壓時，水的三相點降至273.15°K (= 0°C = 32°F)，沸點降至373.15°K (= 100°C = 212°F)，這些在攝氏溫度上的固定點和其他次要的參考點(即所謂的國際實用單位)和實驗室中最好的度量方法，均定期由國際重量和度量協會公佈之。

【絕對靜電單位電量】(Absolute electrostatic unit of quantity)

兩點等值之電荷，在眞空中距離爲一厘米，其所互受之力爲一達因時，二者各含之單位電荷，此單位名曰絕對靜電單位。

【絕對導磁率】(Absolute permeability)

馬克士威於 1864 年推斷：振盪電路乃爲電磁波之根源，而電磁波在眞空中之傳播速度爲 $C = \sqrt{\dfrac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}}$

式中比例因子μ_0稱爲絕對導磁率，而ε_0則爲介電常數(*dielectric constant*)。

【絕對壓力】(Absolute pressure)

眞空上所測量的壓力，在海平面正常情況下，大氣的絕對壓力，每平方吋爲 14.7 磅。因此絕對壓力，是將 14.7 加在氣壓表示數上而得之。

【絕對濕度】(Absolute humidity)

每單位體積的空氣中所含水蒸氣的質量，叫做絕對濕度，平常以每立方米空氣中所含水汽的克數來表示。但絕對濕度，不一定能代表當時空氣的乾濕情形，或大氣中水蒸氣含量距離飽和的程度。因爲還要依當時的溫度來決定。例如絕對濕度爲 9.41 g/m^3，如當時溫度爲 10°C，那麼這時大氣中的水汽就已達到飽和狀態，而覺得十分潮濕；如當時溫度爲 30°C，因爲這時的飽和水汽密度爲 30.35g/m^3，而實在的水汽密度只有 9.41g/m^3，距離飽和尚遠，水份就繼續蒸發，所以這時空氣就覺得乾燥。

【絕對黏滯性】(Absolute viscosity)

液體流動所生的阻力，係一秒鐘經過一平方厘米物體剪力的達因數(*dynes*)。

【絕熱去磁】(Adiabatic demagnetization)

物質的順磁性具一極有趣的用途。在極低的溫度及很強的磁場下，可以使每一個原子磁矩沿磁場方向整齊地排列。若利用一種所謂絕熱去磁的方法即可使這些順磁性的物質降到極低的溫度。我們可以先用液態氦(*He*)將一種順磁物質的鹽類，例如硝酸銨鐠(*praseodynium - ammonium nitrate*)等含有稀土金屬原子的鹽類，在很強的磁場下冷卻至絕對溫度一兩度的情形，因此時 $\mu B/kT$ 的因數可大於 1，例如 2 或 3 等。這時原子磁矩將大部分沿磁場方向整齊地排列，物質的磁化也就接近於飽和之情形。然後我們再使這些物質和外界絕熱(例如將液態氦拿開後使鹽類處於極低的壓力下)，並除去外加磁場，這些順磁鹽類的溫度就會跟著往下降。

除去磁場的方式是很有影響的。如果我們將外加磁場突然除去，則由於結晶格子內的原子熱振盪，原子磁矩對齊排列的情形將逐漸變成不規則的隨意分佈。但是，在無外加磁場之情況下，這些原子磁矩由對齊的方向旋轉至其他方向時我們並不要對它們作功(原子磁矩間的交互作用可大致被忽略，這種交互作用只會產生很小的差異)。這也就是說，它們由對齊變成隨意分佈時整個物系的熱能不會發生變化，即其溫度將不變。

不過，倘若原子磁矩因熱振盪的緣故而掉轉其方向時，仍然有一點外加磁場存在，則它們和外加磁場(或外界)間的交互作用的位能(即 $-\vec{\mu}\cdot\vec{B}$)將增加。因爲，這些磁矩是由於熱振盪而改變其排列的方向，故它們對外界作功。現在，這些順磁物質又對外絕熱，所以唯一的能量來源是熱振盪的熱能。因此，磁矩的方向變亂時，熱振盪的能量將隨之減少。這也就是說，如果外加磁場並不很快地被除去，則順磁鹽類的溫度便會降低。這就是絕熱去磁的冷卻法。依照量子力學的觀點，當外加磁場很強時(即 $\mu B > kT$ 時)，原子磁矩沿磁場方向排列的或然率

較大，即這種分佈爲最低的能態。但是，當外加磁場逐漸變弱時，kT 因數便大於 μB 因數，故原子磁矩不沿磁場方向排列的或然率也就跟著增加。在這個過程裏，每一原子磁矩將吸收 $\Delta U = B\Delta\mu$ 的能量。因此，如果外加磁場是慢慢地被除去的，則在磁矩的方向改變的過程中，晶體熱振盪的能量便逐漸被抽出，其溫度跟著降低。用這種方法我們可將順磁物質的溫度由絕對溫度幾度降至千分之幾度。

如果要將溫度降到更低，則因爲核子磁矩太小，即使在 $2°K$ 的溫度下，其 $\mu B/kT$ 因子仍然是千分之幾的大小而已，所以這時再用核子磁矩的絕熱去磁方法不會將物質的溫度降低多少。但是，如果我們用順磁性物質的絕熱去磁法將溫度降低至千分之一度左右時，核子磁矩的 $\mu B/kT$ 因子就可趨近於一，即可使核子磁矩大部分沿磁場方向排列。如此，我們就可藉著核子磁矩用絕熱去磁的方法使溫度降得更低。利用這種二階段的去磁冷卻法，我們可將物質的溫度降低到距絕對零度百萬分之一度左右。

【絕熱去磁裝置】(Adiabatic demagnetization installation)

是一種比較特別的單程冷凍機或冷卻器；很多實驗室都從 $1°K$ 開始用它來產生毫度($0.001°K$)範圍以內的溫度。在這種裝置中，作功資料是由存在於礬或其他類似的鹽類中的一些原子之基本自旋磁質所組成的，拘束由磁場所形成。在冷卻過程中的四個步驟爲(1)以磁場爲拘束，使部分的自旋磁物質成直線排列。(2)利用作功資料和 $1°K$ 的液態氦間的溫度之平衡來降低作功資料的溫度。(3)移去拘束，此即所謂的去磁作用。(4)利用此作功資料來冷卻任何與它相連接的實驗器材，接著作功資料的自旋方向又變得很雜亂。

爲了要達到微度($0.000001°K$)的溫度，我們必須從毫度的區域內開始著手，對更微弱的核子自旋施行絕熱的去磁作用。英國牛津大學

曾做過此實驗，科學家們留意著一部分溫度達微度區域內的試樣。然而，因爲這些樣品並不完全與0.001°K 的"熱"源隔絕，因此在30 秒鐘至 90 秒鐘後，它又回到原來開始的溫度。

現在所能維持到數分鐘或數小時的最低溫度是1或2毫度（0.001°K 或0.002°K），這是目前一些實驗室中每天例行的工作。

【絕熱退磁】（Adiabatic demagnetization）

即絕熱去磁。

參閱"絕熱去磁（*Adiabatic demagnetization*）"條。

【絕熱過程】（Adiabatic process）

是沒有熱傳遞過程發生的物質變化。將熱加於或取自一物體時，此物體通常會發生溫度、壓力，有時甚至相的改變。這些變化包含能量的吸收或釋出，或可分別視爲正能量與負能量的增加，此增加量的代數和相當於加入或取自此物體的熱量。若物體裝設有完美的熱絕緣體，使熱無法進入或逸出，則物體內發生任何變化時所需的能量將影響其他內在變化的能量，例如由壓縮產生的能量可升高溫度。類似這種過程，物體絕緣界面並無任何熱傳遞發生者，稱爲絕熱過程。由於熱的流動相當慢，因此任何過程如進行得很快，均可視爲絕熱過程。

對於理想氣體，絕熱膨脹或壓縮時，氣壓隨體積改變的比例關係較等溫變化時爲大。對於非常小的變化，此絕熱關係可以下式表示

$$PV^{\gamma} = \text{常數}$$

式中γ是氣體在等壓與等容狀況下之比熱的比值（空氣的γ值是1.410）。氣壓與溫度以及體積與溫度的對應關係可由理想氣體定律求得。我們可證明這些可逆的絕熱過程也是等熵變化，亦即發生這些過程時熵未改變。雖然絕熱過程沒有熱量的流失，但並不一定是可逆過程。只有當過程進行得很慢，在任何一瞬間，整個系統的溫度都是相同的絕熱過程才是可逆的。

研究絕熱過程的理由是因爲理想機械操作的過程都必須是絕熱的，而理想機械可以用來決定實際機械之操作與能力及其所應受限制。蒸汽機圓柱桶內蒸汽的膨脹，內燃機熱氣的膨脹及柴油機內空氣的壓縮，均爲工程上絕熱過程的例子。

【絕熱隔牆】(Adiabatic wall)

當兩個冷熱不同的物體，相接觸時，比較熱的那個物體會慢慢地變冷，而比較冷的那個則慢慢地變熱。現在，讓我們假定有一種理想的隔牆，如果把它介入冷熱不同的兩個物體之間，兩物體的冷熱程度就不會改變，這種隔牆稱爲絕熱隔牆。兩物體不經絕熱隔牆而直接接觸，稱爲熱接觸。

【絕熱膨脹】(Adiabatic expansion)

氣體膨脹時沒有熱量進入，也沒有熱量失去，這種程序稱爲絕熱膨脹，這種程序的方程式是PV^{γ}＝常數。

電冰箱所以有冷卻作用，是基於利用一種氣體，使它急速膨脹蒸發，而沒有時間讓外界的熱進來，而液體蒸發爲氣體須從周圍吸收熱量，因而溫度就降低。從嘴裏吹出來的空氣較冷的道理，也是由於絕熱膨脹的關係。

【絕熱壓縮】(Adiabatic compression)

在絕熱過程中，氣體被急速壓縮，而所生的熱無法逸出，溫度因而升高，此種現象稱爲絕熱壓縮。

【絕熱變化】(Adiabatic change)

若在不使熱進出的情況下，改變物體的壓力、體積或溫度等的變化，稱爲絕熱變化。如果變化的速率很快，沒有時間使熱進出，即使沒有隔熱物質，這種變化亦可視作絕熱變化。當被封閉的理想氣體發生絕熱變化時，其壓力P、體積V和溫度T（絕對溫度）之間有下列關係：

$$PV^{\gamma}=\text{常數} \qquad (1)$$

$$TV^{\gamma-1} = 常數$$

及 $$PT^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 常數$$

（1）式稱爲帕松定律（*Poisson's law*），相當於等溫變化中的波義耳定律（*Boyle's law*）。γ 稱爲比熱比，代表氣體等壓比熱 C_P 與等容比熱 C_V 的比（$\gamma = C_P/C_V$）。單原子氣體的 γ 約等於 $\frac{5}{3}$。雙原子氣體的 γ 約等於 $\frac{7}{5}$，三原子氣體的 γ 則約等於 $\frac{9}{7}$。

【絕緣】（Insulation）

絕緣跟短路正好相反，當外電阻 R_a 接近無窮大，故根據歐姆定律

$$J = \frac{E}{R_i + R_a} = \frac{E}{\infty} = 0$$

表示實際上根本沒有電流通過。

【絕緣支架】（Insulating support）

如電子管中一些電極的支持物。

【絕緣布】（Insulating cloth）

塗有絕緣油之薄布，稱爲絕緣布。

【絕緣材料】（Insulating material）

基本原料不外紙、布、石綿、雲母、玻璃、瓷器以及若干膠漆。膠漆中樹膠最差，瀝靑基中等，合成矽最佳。一般言之植物性不如礦物性。分 O、A、B、H、C 等級：O 級植物性且不浸油或塗漆者，如普通紙布，最高溫度限制攝氏 95 度。A 級指 O 級之曾浸油或塗漆者，最高攝氏 105 度。B 級如雲母紙，礦物性曾襯紙摻膠者，攝氏 130 度。H 級亦以雲母之類爲主幹，但襯玻璃纖維並摻矽膠，攝氏 180 度。C 級純石綿、雲母、玻璃、瓷器之類，尙無限制。

【絕緣破裂】（Insulator breakdown）

介質中由於強電場的作用而產生電流的現象。在正常情況下，介質中的所有電荷都牢牢地固定在自己的地位上，在電場還不夠強時，它就

不能引起電荷的運動，即不能在介質中引起電流。但若電場超過了一定的大小時，就能將電荷分開，使它們運動，即引起電流。在最初的時刻，這種被分開而運動的電荷通常是不多的，也就是電流很弱。但這個電流會使介質發熱，而溫度升高便會使新的電荷更容易分開，於是運動電荷的數目增加，即電流強度增長起來。這樣一來，介質的發熱就更加劇烈，電流強度便越來越大地增長起來，如此便發生了絕緣物擊穿。由於介質擊穿的結果，介質的物質結構便遭到破壞或發生變化，擊穿了的固體介質就在某種程度上失去了自己的絕緣性能。在液體介質中，引起擊穿的電場消失以後，介質的絕緣性質通常能夠恢復過來，又重新成為絕緣物質。

【絕緣強度】(Insulating strength)

使物質損壞之電場強度常名為其絕緣強度。又名誘電強度，指絕緣體能耐之電壓值。

【絕緣接點】(Insulating tape)

鑲有絕緣物之接觸點。

【絕緣測試器】(Insulation tester)

由產生高壓的手搖發電機與靈敏的電流測量表組合而成的設備，進行絕緣試驗時，將發電機和測量表串聯接於需測絕緣的兩點之間。若二點之間的絕緣有漏電情況，表的指針就會發生偏轉，洩漏電阻越小，則偏轉越大。儀器上的度數直接刻為歐姆，由於發電機的電壓很大而儀器的靈敏度又很高，絕緣測試器可以測量絕緣漏電到 100 兆歐以上。

【絕緣臺】(Base insulator)

係用以將天線塔與地作絕緣用之設備。

【絕緣漆】(Insulating varnish)

是一種具有良好絕緣性的物質。

【絕緣線】(Insulated wire)

金屬導線之周圍，以絹絲或木棉等不導電體捲之，以防通於線中之電洩漏者，謂之絕緣線。

【絕緣體】(Insulator)

極難傳電的物體，稱爲非導體，如玻璃、橡皮、雲母、鑽石、石英、火漆等都是非導體。導體上帶電時，常用非導體阻止其逃失，故非導體又稱絕緣體。通常絕緣體都含有較少的自由電子。一般氣體在正常情況下都是中性的，故也是絕緣體。

絕緣體之所以不能導電是由於最高或價能帶已完全充滿電子，且這一能帶並不與次一完全不含電子的能帶重疊(圖 12 — 214)。因爲所有的價能帶的狀態均已充滿電子，所以電子的能量乃被"凍結"；即在能帶中的電子不違反不相容原理(*exclusion principle*)時，不能改變它們的狀態。唯一使電子受激發的可能性是將電子輸送至空的傳導能帶中，但是這可能需要好幾個電子伏特的能量。因此外施電場無法使價能帶中的電子加速，當然也就無法產生一淨電流(在一相當高的溫度或是在非常強的電場作用下，一些電子可能受激發而至傳導能帶，在那種情況，產生電流是可能的)，例如，在鑽石中，在平衡距離約爲 1.5×10^{-10} m時，最低能帶或價能帶與較上的空帶間的分離間隙約爲 6 eV 。這一間隙可以認爲是一相當大的能量間隙；這也說明何以鑽石爲一良好的絕緣體。因此，凡一物質，它們的最高價能帶已完全充滿電子，並且這一能帶與次一空能帶間被幾個電子伏特的能量間隙所分離，這種物質就稱爲絕緣體。可以用來支持或分離良導體，以斷絕導體之間的電流流通。

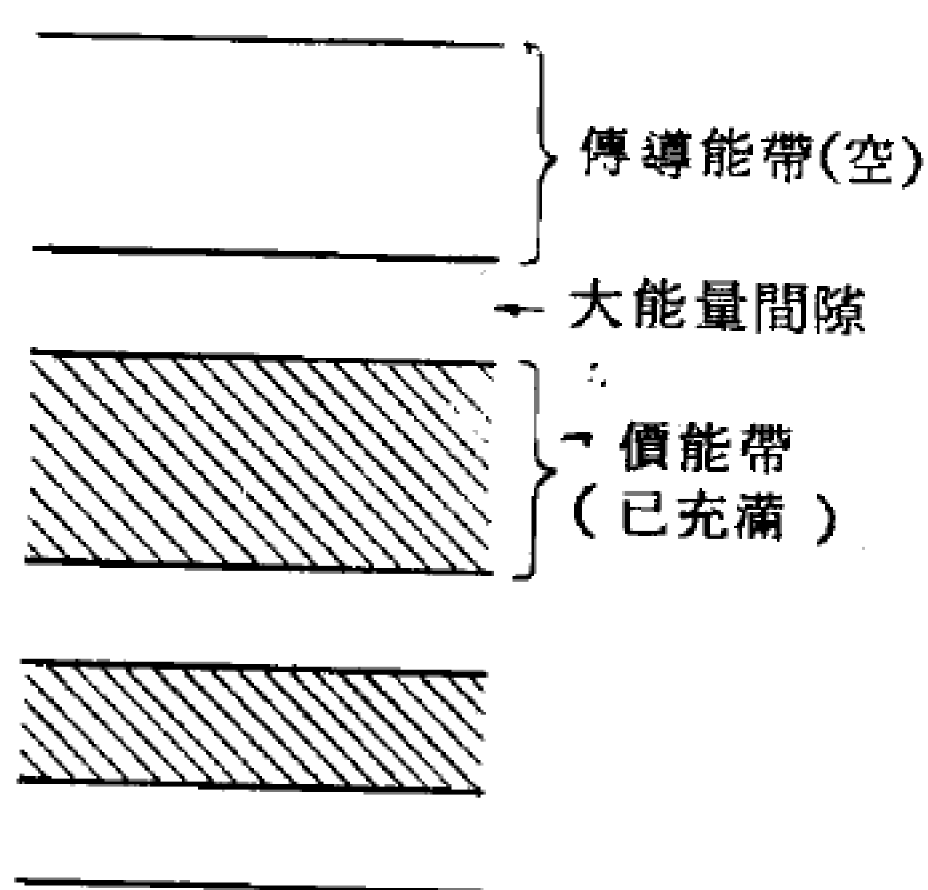


圖 12 — 214　絕緣體的能帶

【絲包線】(Silk-covered wire)

以細小的散絲包裹的導線，稱爲絲包線。

【絲柵起偏器】(Filament grid polaroid)

絲柵起偏器是由一排平行緊密排列的細微金屬絲所組成，見圖 12—215。絲柵上的金屬絲對於平行其方向之電場的導電性很強，因此這個方向的電場就在金屬絲內產生電流，電場的能量轉變爲電流的能量，最後因金屬絲的電阻再變成熱能消耗掉。然而金屬絲之間因爲有空隙存在，垂直金屬絲的方向不可能產生電流，這個方向的電場因此沒有能量損失而得以自由穿過。由於上述理由，當非偏振光通過絲柵時，平行金屬絲方向的分量被吸收，而垂直分量可以幾乎毫無衰減地穿過，這就是絲柵起偏器操作的基本原理。同時還可推測，假如絲柵的金屬絲是任意方向隨便的排列，那麼光就全然不能透射，因爲所有電場的分量都被吸收了。

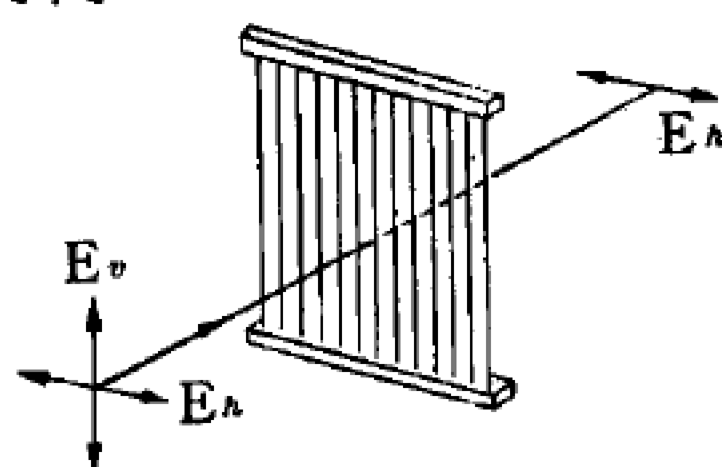


圖 12—215
絲柵起偏器之操作情形

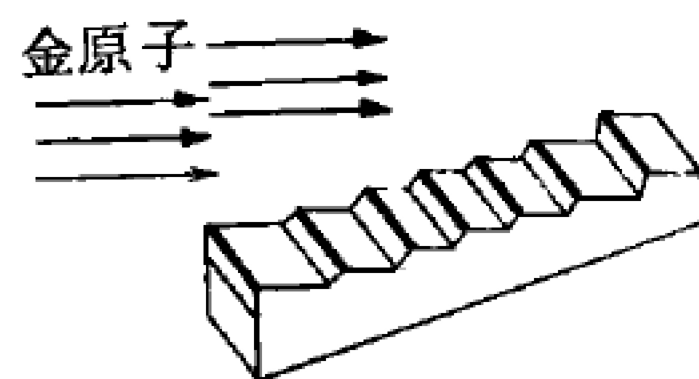


圖 12—216
絲柵起偏器的最新製造法

絲柵起偏器的原理很簡單，但實際的製造相當困難，可以說在1963年以前還沒有理想的絲柵起偏器製成，直到柏得(*G.R.Bird*) 和巴里謝(*M.Parrish*)兩位，打破了所有技術的極限，才使最優秀的絲柵起偏器得以問世；這種新型起偏器的特色是金屬絲直徑小於光波長，同時絲線間隔也小於光波長，這是任何傳統的技術與儀器所不能做到的，因爲在相當一張郵票大小的地方就必須很準確地擠上三萬根之多的金屬絲。

這個巧奪天工的新製法是利用蒸發的金屬氣體，在每吋五萬根線之透明繞射光柵的突起部分噴上一條金屬絲，如圖 12—216 。在一個大眞空室中，通入氣態的金原子流，使剛好在輕觸光柵的方向擦過，因此

光柵的脊線上就凝結了平坦的一層金原子（窪下部分沒有），這個表層只有幾百個原子的厚度，微細得甚至用高倍率光學顯微鏡也看不到，但可以用電子顯微鏡照相，雖然金原子表層的截面積很小，但對平行方向電場的導電度仍很佳，而垂直方向也是完全絕緣的。

絲柵起偏器品質的優劣要看光柵絲線的粗細與間隔的大小而定。金屬絲太粗，縱使垂直方向的電場也會在單根金屬絲本身產生電流，我們所要的偏振光分量就會損失一部分，若間隔太大，則所要吸收的分量就會部分漏過。因此之故，波長 3 厘米的微波絲柵起偏器製造很簡單，只要金屬絲的直徑和間隔小於 3 厘米就行了，但對於可見光，如綠光，要使粗細和間隔小於綠光波長就煞費周章了。

【絲極】(Filament)

是電子管中的一個電極，通常用鎢絲做成。當電流通過絲極，使其達到一定溫度時，即能發出大量電子；在其他電極的影響下，電子管內即有電流流通，於是發生需要的作用。有些電子管，在絲極的外圍，另有一個塗著氧化物的金屬圓筒，叫做陰極。當電流通過絲極時，陰極發熱，因而發射電子，但絲極本身並不發射。

【給呂薩克】(Joseph Louis Gay-Lussac 1778 — 1850)

法國著名之物理及化學家。1778 年生於法國南部聖雷俄那特（*St. Léonard*）。其得名於氣體膨脹之研究。1802 年發現溫度對氣體的影響，稱爲給呂薩克定律，亦即查理定律。由於研究氣體的化學，在 1809 年綜理他人的研究結果，而得定比定律，即氣體成爲化合物時，各元素氣體的體積成簡單的整數比。

給呂薩克曾於 1804 年和必奧（*Biot*）乘充氫氣的氣球升至21,000 呎高空，收集空氣樣品，測定成分，觀察其溫度及濕度。改進工業上製造硫酸及草酸（$(COOH)_2$）的方法，建議在鉀鹽和蘇打中對鹼金屬的測定法，改良消除漂白粉中的含氯量。1808 年提煉得硼，1815 年發現氰

關於給呂薩克所著的論文，據皇家學院的記載達 148 篇之多（與他人合作者尚不在內）。於 1850 年逝於巴黎。

【給呂薩克定律】（Gay-Lussac's law）

當壓力一定時，任何氣體的熱膨脹係數大致都等於同一數值；此數值爲 1/273.15。這定律有時又稱爲第一給呂薩克定律原爲亞曼頓（*Amonton*）所發現，在 1787 年由查理（*Charles*）所驗證。最後在 1801 年爲給呂薩克由精密實驗所奠立。所以有時又稱爲查理定律。

此外又有關於氣體反應的另一定律，也稱爲給呂薩克定律，或第二給呂薩克定律。在化學反應中，如果反應物質與生成物質均爲氣體時，則在同溫同壓下這些氣體的體積間有簡單的整數比關係。例如，氫（H_2）和氧（O_2）化合而生成水汽時，各氣體的體積比爲 2：1：2。這定律在 1805 年由給呂薩克所提出。

【給熱燈絲】（Heater）

只作供熱用的燈絲，稱爲給熱燈絲。

【肅靜時間】（Quiet period）

船隻電臺收聽 500 仟赫遇險頻率的時間。

【華氏溫標】（Fahrenheit's temperature scale）

今日使用最普遍的溫度計之一，爲德人華倫海（*Fahrenheit*）在 1724 年將水、冰、氯化氨混合物的溫度定爲 0 度，冰的熔解溫度定爲 32 度，健康人的體溫定爲 96 度。因此水的汽化點成爲 212 度。這種溫度標稱爲華氏溫標，以記號 °F 表示。將同樣溫度以攝氏和華氏表示時，若其數值分別等於 C 和 F，則 C 和 F 間關係如下：

$$C=\frac{5}{9}(F-32)$$

$$F=\frac{9}{5}C+32$$

【華倫海】(Gabriel Daniel Fahrenheit 1686—1736)

德國物理學家，生於但澤(*Danzig*)，其一生大都在英國及荷蘭度過，以製造氣象儀器爲生，暇研習物理學。以華氏溫標的設計者著名於世，並最早製成水銀溫度計。1736 年卒於荷蘭。

【菊池線】(Kikuchi lines)

無論是透射(*transmission*)或反射(*reflection*)，都可以從非常完美的晶體裏，得到特殊的電子繞射圖，圖 12—217 中出現數組成對的線條，每對線條均由一較明亮和一較昏暗的線條組成，這種圖形稱爲菊池圖，而圖 12—217 中的線條卽稱爲菊池線(其成因可參考圖 12—217)。菊池圖主要的特點，在啓發我們認識晶體的某種對稱性。

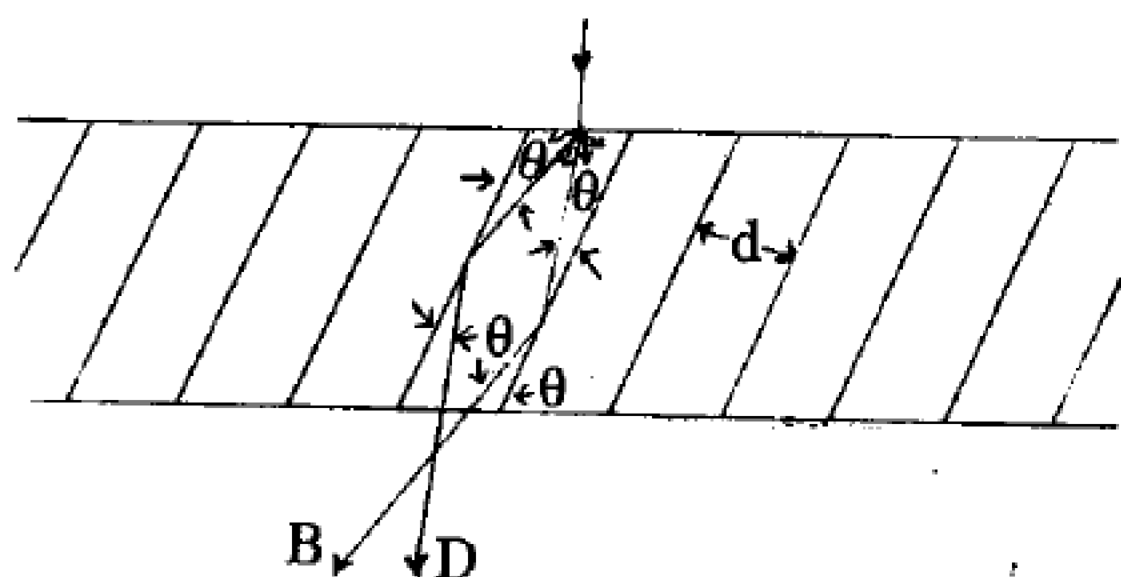


圖 12—217

入射的電子被接近表面的原子層散射，進入晶體內，散射的強度由散射的角度所決定，角度愈小強度愈大。這些散射的德布洛利波(*De Borglie wave*)，在晶體內的平面，取一正確的角度，作強烈的布勒格反射(*Bragg reflection*)。當這些射線從晶體射出時，卽組合成菊池線，每一對的 B 線較爲明亮，而 D 線由於不同調較爲昏暗。菊池圖對於判斷完美晶體的標準，極具重要性，因爲當晶體有任何輕微的失眞時，菊池線立刻消失。

【萊頓佛羅斯特現象】(Leidenfrost's phenomenon)

沸騰之阻滯，有一個非常奇特的例子就是有名的萊頓佛羅斯特現象。設以一滴水滴在一個用火焰保持赤熱的磁盤或鐵塊上時，我們一定認爲此一水滴會發出嘶嘶響聲而立刻汽化。但事實卻非如此；我們旣聽不到沸騰的聲音，也聽不到嘶嘶響聲，蓋水滴仍保持扁平球形，進入一種

旋轉運動的狀態，所以是慢慢汽化而並不沸騰。此一現象，主要乃因蒸汽導熱能力極其薄弱而形成。另有一點值得注意的，就是只要使鐵塊保持足夠熱度時，則水滴恆不接觸鐵塊，而水滴的溫度亦恆較沸騰溫度爲低，約爲97°C 左右。這是由於在水滴和鐵塊之間形成一層蒸汽，而此層蒸汽會像一個墊子一般承托水滴，使後者和鐵塊不相接觸所致。又因蒸汽導熱能力薄弱之故，只有少量的熱始能傳予水滴（圖12—218 ）。倘若移去火焰，則因鐵塊逐漸冷卻，遂無法再行產生足夠的蒸汽；此時，水則反而會和那塊溫度還是很高的鐵塊發生接觸，於是它就立刻進入猛烈的沸騰而突然汽化。



圖 12 — 218
萊頓佛羅斯特現象

此一現象是由萊頓佛羅斯特（ *J.G.Leidenfrost* ）首先發現的，可以產生各種不同的頗值得注意之功效。例如，我們之所以能用濕手指接觸熱熨斗或浸入熔解的金屬中而不受傷害，就是因爲手指周圍立刻圍繞了一層保護的蒸汽套，使手指並不直接與金屬發生接觸所致。

【非次吉拉】（ **George Francis Fitzgerald** 1851—1901 ）

愛爾蘭物理家，1851 年八月三日生於愛爾蘭之都柏林。在都柏林三一學院就學，畢業後留校任教，1881 年升物理學教授，至1901 年二月廿一日逝世。非次吉拉對於實驗物理學頗多建樹。主要研究輻射及電磁理論，磁性光學現象（克而效應）等。當研究邁克生的實驗結果，非次吉拉預測物體在以太中運動時會改變形狀，這現象稱爲羅倫茲、非次吉拉收縮（ *Lorentz-Fitzgerald contraction* ）。非氏又與其學生合作，從事研究赫茲波反射的偏振定律，探測電磁波及 *X* 線的散射，試驗電解液的歐姆定律之有效性。此外，非次吉拉熱心教育，爲愛爾蘭創設技術教育頗有功績，1898 年後曾就任國家教育委員。1899 年曾受皇家學院獎章。

【非克定律】（ **Fick's law** ）

質點擴散時經過一定面積的質點擴散速率與質點濃度梯度成正比，但符號相反，此稱非克定律，係一著名之經驗定律。令質點通量（即每單位時間通過每單位面積之質點質量）爲$\vec{J}$，質點密度爲ρ，則非克定律可寫爲$\vec{J}=-D\nabla\rho$，式中D稱爲擴散係數。

如果應用質量守恆律，即

$$\nabla\cdot J+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0$$

可以求出擴散方程式

$$\nabla\cdot(D\nabla\rho)=\frac{\partial\rho}{\partial t}$$

若D與位置無關，則

$$\nabla^2\rho=\frac{1}{D}\frac{\partial\rho}{\partial t}$$

嚴格言之，非克定律只能視爲一經驗定律；化學位的梯度才是導致擴散的眞正主因，濃度梯度僅是此位梯度的近似而已。不過在一般場合，非克定律已足敷應用。顯然應用非克定律時，空間任兩點除濃度不同外，其餘性質應相似，否則非克定律可能不復存在。如溫度的分佈對擴散便大有影響，若應用非克定律，則溫度宜在均勻狀態下方可保證此項應用的合理。

大凡氣體分子在自由空間中的擴散、懸浮微粒在水中的散佈以及空位在晶體中的擴散等等，都可應用非克定律加以闡釋。

【菌光】（Bacteria light）

特種細菌在進行代謝作用時所發之光。海水表面即有此種細菌；惟於海水攪動，加速其代謝作用，並大量集結時，方易看出其所發之點點閃光。

【菱形天線】（Rhombic antenna；Diamond antenna）

不調諧天線之一，可不經調節即可用在各種不同頻率。

【菱形結構】(Diamond structure)

週期表中第四行元素之典型結構，如金剛石的空間晶格是面心立方，每一晶格點有一組根基，此根基由兩個相同的原子在(0,0,0)及(1/4 , 1/4 , 1/4)所構成。每一原子有四個最鄰近的原子及十二個次鄰近的原子，在單位立方體中有八個原子。菱形結構的晶格點是相當空的，其爲剛性球充滿的最大空間只佔整個空間的0.34 ，此值約等於最密堆集的46 %。碳、矽、鍺及灰錫等的晶體有此結構，其晶體點最近的距離各爲3.56 Å、5.43 Å、5.65 Å及6.46 Å。菱形結構的結合鍵屬於共價鍵。

【虛功】(Virtual work)

一力 F 使質點產生想像的無限小位移 ds ，所作的功 dw 便叫虛功，以方程式表示

$$dw=\vec{F}\cdot\vec{ds}$$

【虛功原理】(Principle of virtual work)

平衡之物體，在可能範圍內，如略改其位置少許，則加於物體各力所作功之代數和等於零。虛功原理是解靜力平衡的一種極有用的方法。應用這種方法解問題時我們先假想一平衡系統有一無限小的變化，然後我們根據能量守恆原理研究每一作用力所作之虛功(因爲位移是假想的，故所作之功稱爲虛功)間的關係，便可求出我們所要找的某一應力的大小。

【虛光子】(Virture photon)

某些光子在一個短的時間 Δt 內，能量可以有

$$\Delta E\sim\hbar/\Delta t$$

的不確定，這也就是說，在 Δt 的時間內，能量可以違背守恆的要求至 ΔE 的程度。對這些短暫而違反能量守恆的光子，我們稱之爲虛光子。

庫倫力可以被看作是帶電粒子間交換虛光子的結果。因此，我們對

於電磁交互作用中的庫倫力，通常有兩種描述方法：(1)是用古典的場論、庫倫定律或高斯定律。(2)爲量子場論的方法，主要是虛光子的交換。這兩種描述法在常觀的尺寸下應該符合。

用虛光子交換的假設，加上測不準原理（ *uncertainty principle* ），對靜電交互作用的作用力，作一些數量級上的估計（並估計其對距離的函數關係），利用這些便可說明虛介子的交換在強交互作用的地位。

【虛位移】（Virtual displacement）

對於某一運動系統，假定約束是完整而固定的，它們的方程式有如下的形式：

$$f_j(x_1, y_1, z_1, \cdots x_n, y_n, z_n) = 0 \quad (j=1, 2\cdots s)$$

在研究系中的一點M_i，它的位置是由向徑$\overrightarrow{r_i}$確定的，即M_i的三個直角坐標爲x_i, y_i, z_i。設M_i作了一個無限小位移$\delta\overrightarrow{r_i}$，其在坐標軸上的三個分位移（即投影）爲$\delta x_i$，$\delta y_i$，$\delta z_i$。若系是自由系，則所有的$\delta x_i$，$\delta y_i$，$\delta z_i$（共有$3n$個）將可以完全任意選取。但約束的存在將給這些數值加以限制；這些限制是易於求得的，只要把方程式的兩邊全微分，就可看出是些什麽限制了；這樣我們有：

$$\delta f_j = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_i} \delta x_i + \frac{\partial f_j}{\partial y_i} \delta y_i + \frac{\partial f_j}{\partial z_i} \delta z_i \right) = 0$$

$$(j = 1, 2 \cdots\cdots s) \qquad (1)$$

這些分位移（即在三個坐標軸上的投影）δx_i，δy_i，δz_i是由（1）式中的s個方程式聯繫起來的。因此任意獨立的投影只有$3n-s$個，其餘的s個投影是這些獨立投影的函數。

滿足約束所加限制的位移，或換句話說，與約束符合的位移，稱爲虛位移或可能位移。

系之虛位移的投影數目$k = 3n - s$，稱爲系的自由度數（ *number of degrees of freedom* ）。

在眞正運動中，系統所作的位移，稱爲眞位移（ *actual displacement* ）。眞位移以 $d\vec{r_i}$ 表之，其投影以 dx_i, dy_i, dz_i 表之。當然，系在每一瞬時的眞位移，就是它所有虛位移中的某一組位移。

若約束是完整而非固定的，它們的約束方程式有如下的形式：

$f_j(x_1, y_1, z_1 \cdots x_n, y_n, z_n; t) = 0 \quad (j = 1, 2 \cdots s)$

在非固定約束的情形中，虛位移應理解爲約束在某一瞬時停息之後的可能位移，換句話說，約束方程式中的變數 t 須視爲一個不變的常數值。在這樣的虛位移定義中，上式之約束方程式所加於系的限制，仍爲（1）式，很顯明的，這時的眞位移不能和虛位移相重合。因爲眞位移不能把時間 t 當作常數。眞位移所受的限制條件爲：

$$df_i = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_i} dx_i + \frac{\partial f_j}{\partial y_i} dy_i + \frac{\partial f_j}{\partial z_i} dz_i \right) + \frac{\partial f_j}{\partial t} dt = 0$$

$$(j = 1, 2 \cdots\cdots s) \qquad (2)$$

方程式組中（2）式比（1）式多了一項 $\frac{\partial f_j}{\partial t} dt$，故眞位移不能和虛位移相重合。

δf_j 的運算是把約束方程式中的變數 t 當作不變的參數而全微分，稱爲函數 f_j 的變分運算（ *operation of variation* ）。而方程式（1）式的本身稱爲函數 f_j 的變分（ *variation* ）。

爲了求虛位移，無論是在固定約束的情形或是在非固定約束的情形，都必須對約束方程式作變分運算。至於求眞位移，則須對約束方程式作微分。是以變分運算在非自由系動力學中具有重要的意義。

【虛位移原理】（Virtual displacement principle）

虛位移原理是力學中最重要而且最基本的原理之一，它是解決平衡問題中最普遍有效方法。拉格朗（ *Lagrange* ）曾說：“照我看來，在研究平衡的科學領域中，所發現的其他一切原理，都不過是虛位移原理的化身而已”。

雖然虛位移原理是解決靜力學問題的，但是以後我們把虛位移原理和達朗白（ *D'Alembert* ）原理結合，還能得出解決動力學問題的最普遍方法。所以虛位移原理在力學中所佔的重要地位，是顯而易見的。

虛位移原理的內容爲：受理想約束的體系，若在主動力作用下已於某一位置成平衡，則在使體系離開這個位置的一切虛位移上，主動力所做的微分功之和均等於零。如以$\vec{F_i}$表示作用在系中任意點M_i上的主動力，並以$\delta\vec{r_i}$表示這一點的虛位移。則該原理的向量表示式爲：

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F_i} \cdot \delta\vec{r} = 0 \qquad (1)$$

分析式爲：

$$\sum_{i=1}^{n} (F_{ix}\delta x_i + F_{iy}\delta y_i + F_{iz}\delta z_i) = 0$$

或另寫爲：

$$\sum_{i=1}^{n} F_i \,\delta s_i \cos\alpha_i = 0$$

式中δs_i爲位移$\delta\vec{r_i}$的長度，α_i爲力$\vec{F_i}$和位移$\delta\vec{r_i}$之間的夾角。

如果系處於平衡狀態，則系內每一點亦處於平衡，即主動力$\vec{F_i}$和加在M_i點上的約束力$\vec{N_i}$的合力等於零，因而合力所做的功也等於零

$$\sum_{i=1}^{n} (\vec{F_i} + \vec{N_i}) \cdot \delta\vec{r_i} = 0$$

或

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F_i} \cdot \delta\vec{r_i} + \sum_{i=1}^{n} \vec{N_i} \cdot \delta\vec{r_i} = 0$$

但由理想約束的條件，已知上式的第二項等於零；因而證明了原理的必要性。

其次假定條件（1）式成立而系不處於平衡。在此情形下，如果系開始是靜止的，則系將在$\vec{F_i}$及$\vec{N_i}$的作用下進入運動，而M_i必有一眞位移產生。因爲眞位移是沿著合力的方向，所作的功將是正功（由靜止進入運動系應得到正能的增加，故爲正功）。於是：

$$\sum_{i=1}^{n} (\vec{F}_i + \vec{N}_i) \cdot \delta\vec{r}_i > 0$$

或

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \cdot \delta\vec{r}_i + \sum_{i=1}^{n} \vec{N}_i \cdot \delta\vec{r}_i > 0$$

第二項按理想約束的條件等於零，因而剩下

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \cdot \delta\vec{r}_i > 0$$

這是和原來的假設相矛盾的，於是證明了該原理的充分性。

在應用虛位移原理以列出方程式的時候，如果給以各種不同的獨立的虛位移，就可以列出和獨立虛位移個數（即自由度數）相等的獨立方程式。可見能解決的未知數的數目，並不會超過系統的自由度數。

在受理想約束的系之平衡條件（1）式中，並不包含約束力，所以用虛位移原理解決實際問題時，只須考慮主動力而不必考慮約束力，這使得問題大為簡化；虛位移原理的優點即在於此。若在非理想約束（有摩擦力的）情況下，我們仍然可以應用虛位移原理，此時只須應用釋放原理把摩擦力作為主動力，因而約束亦就變成了理想約束。

【虛陰極】（Virtual cathode）

包圍陰極鄰近表面的空間電荷，名虛陰極，因其效應有如發射電源。

【虛焦點】（Virtual focus）

平行於軸將平行光線照射於凸面鏡或凹透鏡時，反射或通過面或透鏡的光線，宛如自軸上的一點發出來一般地前進。但實際上並不是光在此點集中。像這樣的點叫虛焦點，用以與焦點區別。

參閱“球面鏡（*Spherical mirror*）”條。

【虛態】（Virtual state）

當激發能超過最低分解能的原子核狀態，稱為虛態；以有別於只能發射 γ 射線而蛻變的束縛能。每一虛態都有許多相競爭的蛻變模式，通常是激發能愈高的虛態，其競相蛻變的模式愈多。

在量子場論（*quantum field theory*）中，描述含有一些在某時刻 t，各有不同動量、自旋和其他特性的粒子（如光子、電子、介子等）的系統，是用狀態函數Ψ（t）。當系統由具有某一定能量的初態轉變到能量在能量分佈區的終態時，量子場論可以計算單位時間內，這些轉變的躍遷機率（*transition probability*）爲多少。常以微擾方法得躍遷機率展開爲場耦合常數（*coupling constant*）的冪級數。現以一電子爲另一電子碰撞散射爲例，此時粒子數目不變，而動量改變；電子間的作用是靠電磁場的量子即光子居間作用的，它們是以耦合常數 $2\pi e^2/hc \approx 1/137$ 爲耦合。微擾展開式中相繼的係數是對應於電子間的作用利用一個、二個、…光子的交換。如圖 12－219 所示，圖中實線表電子，虛線表光子，每一粒子的產生和毀滅過程即圖上的每一頂點。在此線動量、角動量及電荷均是守恆，而能量並不守恆，雖然就整個過程而言能量是守恆的。這些中間的態，當然是無法觀察的，因此稱爲虛態，而在中間態存在的粒子稱爲虛粒子。產生和毀滅虛粒子的過程稱爲虛過程。

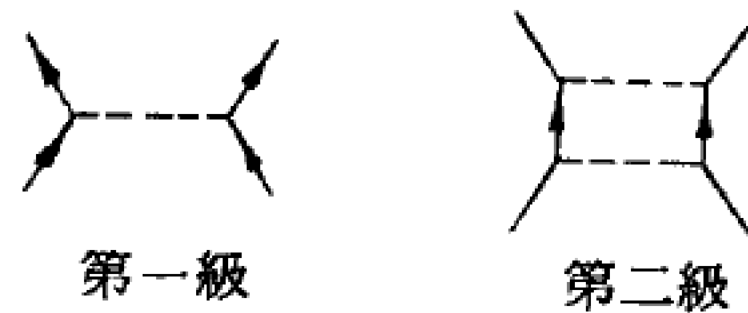


圖 12－219

類似的方法可應用於核子間的相互作用，只是此時場的量子是介子而不是光子，耦合常數也不同。

【虛像】（Virtual image）

乃自物體上某一點所發出的光，經過光學系統後，好像由一新的點所發出的光，而此新點並非實像（*real image*），則物體經光學系統所呈之像爲虛像。將幕屏置於虛像位置，幕上將無影像出現。例如平面鏡所成之像即是標準的虛像。物體在鏡前像在鏡後，然而卻無光線透過鏡面。

【虛聲子】（Virtual phonon）

當能階躍遷不符合選擇定則時，在這轉變過程中就有一虛聲子被吸收或放射。

一般超導理論中，最基本的觀念就是兩個電子有互相吸引的作用。一個電子放出一個聲子，而這個聲子很快地就被另一個聲子吸收。整個進行過程中總動量是不變的。但能量不變的關係就用不著了，因為介乎其間的聲子壽命極短，從測不準原理（*uncertainty principle*）得知其能量變化可能很大。這種短壽命的聲子稱為虛聲子。而總能量的減低也就顯示出兩個電子之間的吸引作用。

【蛛網式線圈】（Spider web coil）

將導線繞於割成裂縫之橡皮或硬紙板輪上，成為蛛網形態之線圈。

【蛛網雲母碟】（Spider mica）

示波器之偏向屏，裝置在附於金屬蛛網形之雲母碟中。

【裂斷強度】（Breaking strength）

物體裂斷時之最小應力，稱為裂斷強度。

【補色】（Complementary colors）

詳閱"互補色（*Complementary colors*）"條。

【補償】（Compensation）

放大器對寬闊的頻段放大時，常有極大的頻率失眞，欲取得均勻的放大，在放大電路中常要加入補償電路。

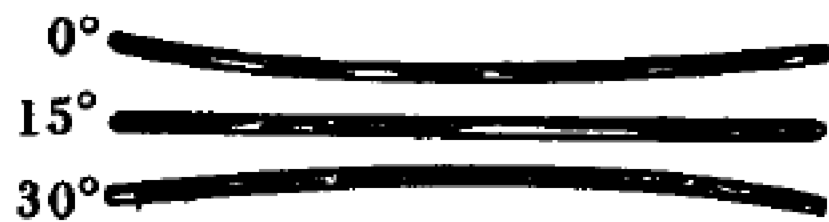


圖 12 — 220 補償板

【補償板】（Compensating plate）

各種固體具有不同之線膨脹係數，這一性質有實際上之用途。倘若我們用焊、鉚、或栓以螺釘的辦法，將二種不同的金屬片重疊在一起，使其於平均溫度為15°C 時，剛好成為一條挺直的複合片條（圖 12 — 220），則於其他任何溫度下，即將形成一條彎曲的複合片條。譬如說，當溫度增高至30°C 時，複片即將向外凸出，而其中膨脹係數較大之金屬片將成為凸弧的外邊；當溫度減低至0°C時，複

合片條即將向內凹陷，而膨脹係數較大之金屬片將成爲凹弧的內邊。這種由不同金屬片所組成的複片，稱爲補償板。

我們往往一開始就把補償板造成彎曲或螺旋的形狀，而將其用於下列各方面：

1. 普通的掛鐘雖然是用鐘擺來定時的，但是我們的懷中時計卻是藉助於細小的螺旋彈簧的彈力，使小巧的擺輪往復搖擺（圖 12—221 ）而定時的。因此，擺輪即可代表普通掛鐘中的鐘擺 AB ，而彈簧的彈力即可代表重量 Q 。一個未經補償的擺輪在較高溫度時，要比在較低溫度時搖擺得慢些，因爲在溫度較高時，彈簧的彈性會受到少許損失，而擺輪的直徑也會較前大些，結果遂使質量中心要比以前離開軸心遠些。但質量中心之向外移置是會促使轉動速度減低的。據此，以上二項效果均將形成時計走慢之後果。對於這一個問題，我們可以這樣設法校正，那就是將搖擺部分的質量再向中心移近一些。爲了要達成此一目的，我們可將弧形片 bc 與 ad 用補償板的原理來製造。如圖 12—221所示，弧形片的內層金屬（用粗的黑線條畫出）具有較小數值的膨脹係數。於是，當溫度壓高時，弧形片自由活動的二端 a 與 c ，就會彎曲得足夠向內，使時計走得較慢的誤差，得到校正。

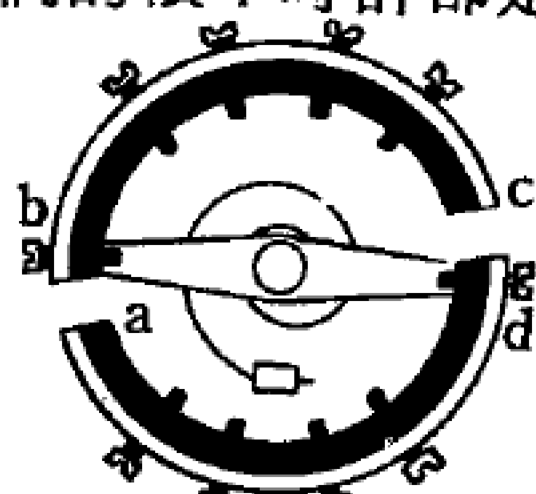


圖 12— 221
懷中時計的補償擺輪

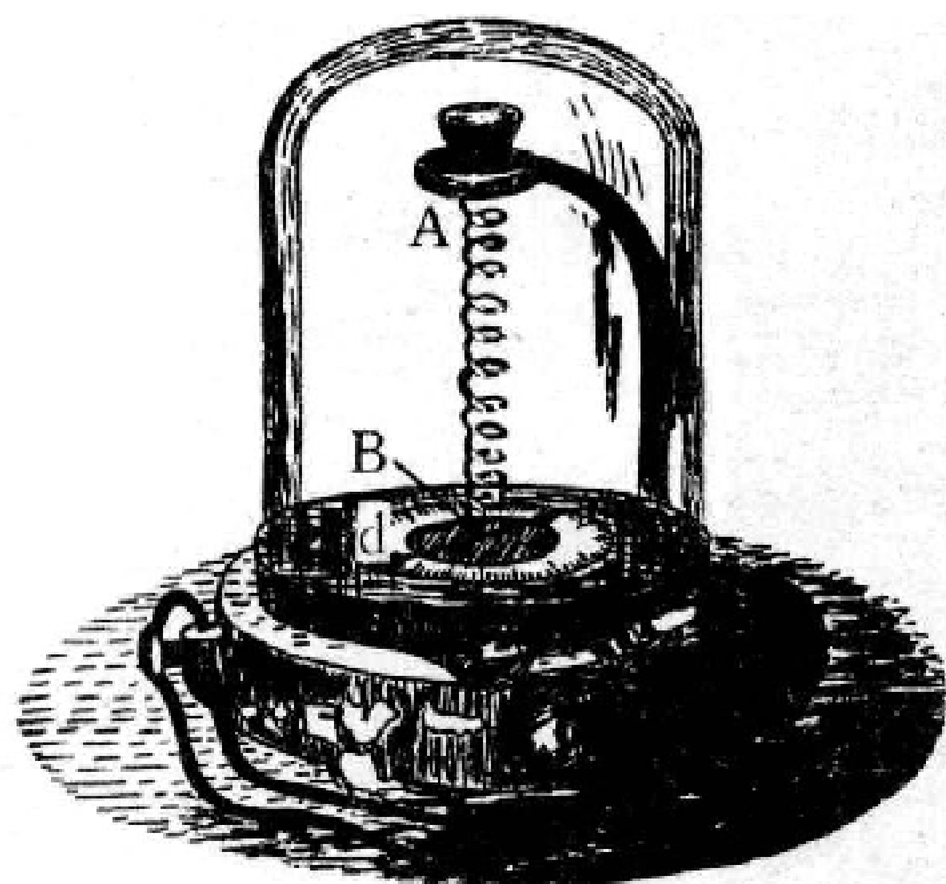


圖 12— 222
勃萊居特的金屬溫度計

2. 補償板之原理也可以應用於金屬溫度計（ *metallic thermometer* ）。我們將這種補償板捲成螺旋彈簧的形狀，於是當溫度增高時，螺旋形彈簧就會捲緊，而當溫度降低時，則又放鬆。勃萊居特（*Bre-*

guet）就將這種原理應用於金屬溫度計（圖 12—222 ）。他當時所用的補償板，是由銀（*Ag*）、金（*Au*）及鉑（ *Pt* ）三種不同的金屬所組成。螺旋形彈簧*AB* ，即由該項重疊焊接而成的補償板捲繞而成，然後將頂端*A*固定，而底端則與一輕巧的指針 *cd* 相銜接。當溫度發生變化時，指針就在一個標度盤上轉動，該項標度則已預先與水銀溫度計比較後而得到校正。圖中所顯示的鎖緊螺絲是用來導入電線，使其與螺旋形彈簧形成一電路，以便由發出的電熱來計量電流強度。

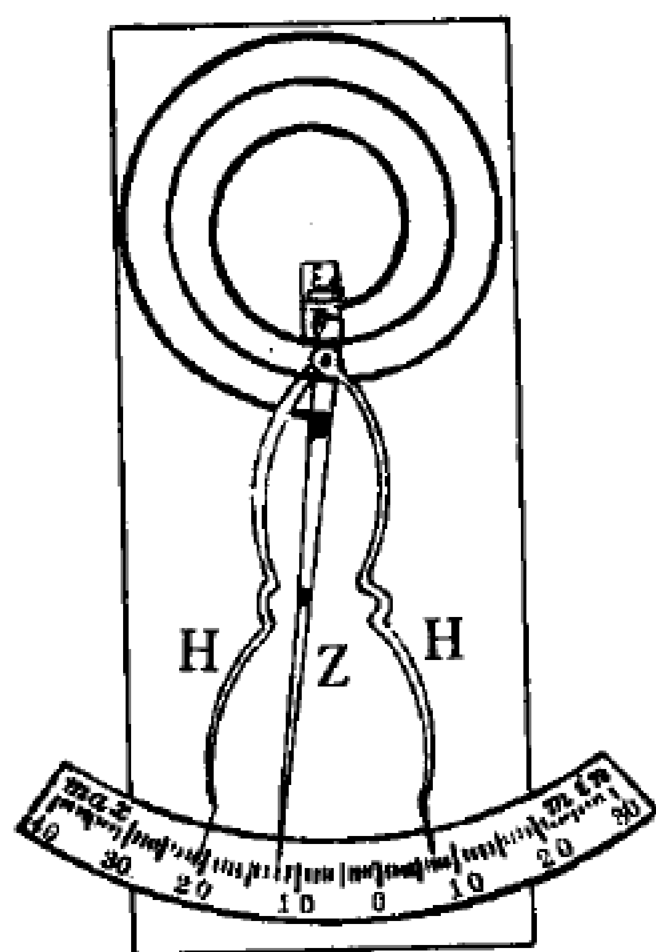


圖 12—223
金屬製最高最低溫度計

圖 12—223 所示之金屬溫度計，也可以拿來作爲最高最低溫度計（ *maximum and minimum thermometer* ）之用。彎成平面螺旋彈簧之補償板，於變形時會使指針*Z*在一溫標上轉動。此指針於向左或向右轉動時，即可將左右各一之細小標桿*H*向前推移，而此標桿之尖端即可指出每次所達到之最高溫度（＋21°）或最低溫度（－7°）。

3.倘若我們將金屬溫度計再配上一組記錄用的設備，有如氣壓記錄儀，上面裝著一個附有鐘錶齒輪而能轉動的紙面圓筒，使能畫下溫度的曲線，則我們就具有了一套溫度記錄儀（ *thermograph* ），一如我們在公衆氣候報告站中所見者然。

倘若我們將兩種具有彼此相近似的膨脹係數的東西重疊接合，則並無材料內張力之可發生。玻璃與白金具有差不多相同的膨脹係數（玻璃爲 0.000008，白金爲 0.000009），所以我們可將白金絲熔入玻璃之內。經過所謂玻璃封口之手續而得以壓入電燈泡中之導電插頭，其金屬本身之膨脹係數必須與封口處玻璃之膨脹係數相近似，始可避免通電發熱後玻璃裂碎及漏氣之弊。

【補償定理】(Compensation theorem)

若一網路在某一支節改變了ΔZ的阻載，則在那支節會產生$-i\Delta Z$的電動勢，其中i為支節原有的電流，此謂之補償定理。

【補償線圈】(Compensating coil)

交流瓦時表中，利用此線圈使在任何功率因數下記錄準確。

【補償器】(Compensator)

一種裝置，能夠測量橢圓極化光線二分量的相差。

【補償擺】(Compensated pendulum)

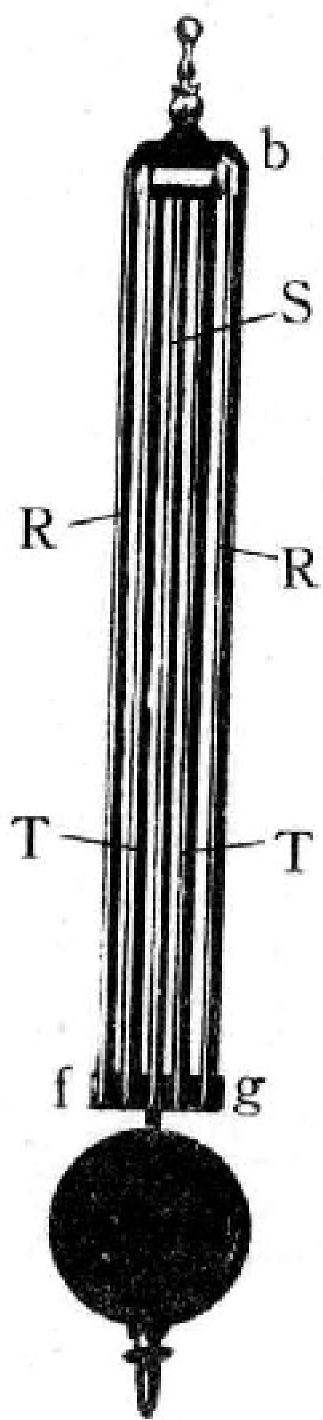


圖12—224 格雷木之水銀補償擺。

擺之週期，可以公式$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$表之，故擺長l變，則其週期T亦因之而變，然凡物體，溫度升則膨脹，溫度降則收縮，故普通鐘擺常因氣候寒暖而異其長，故其振動亦時速時緩。詳言之，即用擺鐘錶，多季常速，夏季常緩。因此，我們必須對於時鐘擺的膨脹問題，在不加損害的原則下，設法更正，否則時鐘便會走得不準。補償擺即為一種特殊設計之擺，此擺之擺桿不因溫度之改變而有所影響。如圖12—224 所示，使用格雷木 (*Graham*) 之水銀補償擺即可使擺桿的長度變化得到補償。此擺之構造，係以水銀充灌之玻璃容器代替擺錘。當擺桿膨脹時，整個擺體之重心便向下移置。但由於水銀之向上膨脹，故可使重心之下降得到補償。

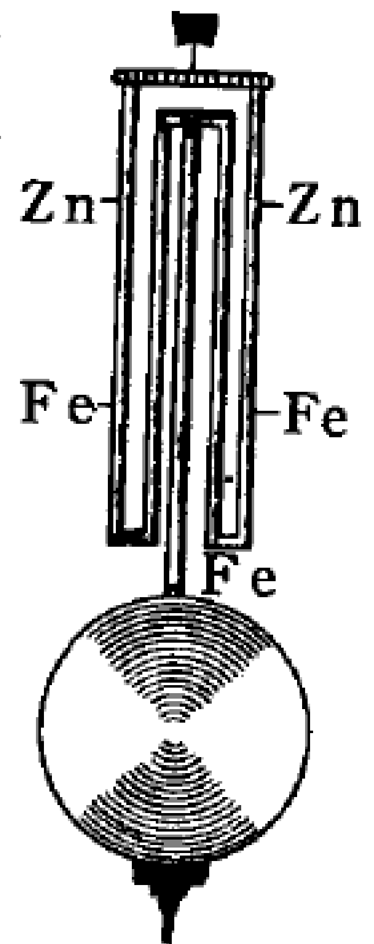


圖12—225 哈列遜柵狀擺

補償擺之另一型式，即為哈列遜 (*Harrison*) 製造之柵狀擺。此擺之構造，為用異種之金屬棒數根，如鐵及鋅棒，如圖 12—225 配合之，以懸擺錘，溫度上升，鐵與鋅雖同時膨脹，然鐵棒長則使錘下，鋅棒長反使錘上，故若使此二種棒長恰與膨脹率成反

比例，則溫度雖變，而常能使錘與懸點A之距離一定不易，今設鐵棒長爲l_1，鋅棒長爲l_2，其膨脹率爲a_1、a_2，則當溫度t時，因鐵棒增長，錘降下l_1a_1t，因鋅棒增長，錘升上l_2a_2t，故若欲使錘與溫度0°時占同一位置，則必使

$$l_1a_1t = l_2a_2t$$

$$\therefore \quad l_1 : l_2 = a_2 : a_1$$

故知二棒之長與其膨脹率成反比例，爲補償擺所必須之要件。

【補償擺輪】(Compensated balanced wheel)

錶內擺輪邊緣以二金屬釘合成弧形（α較大之銅在外，鐵在內），二弧皆一端固定，他端自由，溫度增高時二自由端內彎，可抵銷橫棒膨脹及游絲彈性減低使錶針走慢之作用。

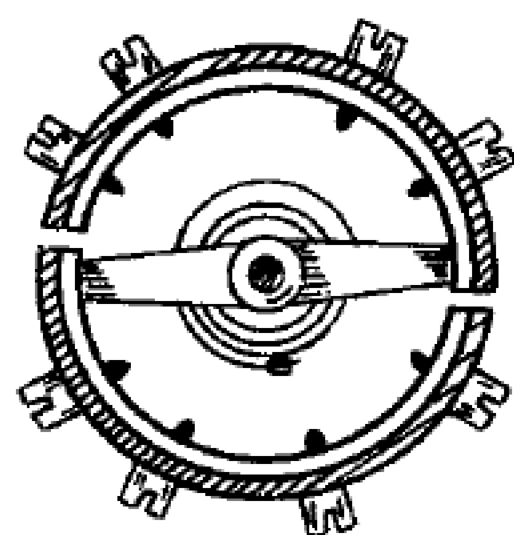


圖12—226

【視午】(Apparent noon)

又名視午正。太陽中心在子午圈之頃爲視午。亦即爲太陽中心上中天之頃。

【視尺寸】(Apparent size)

物標的視尺寸由其物像在眼睛之視網膜上形成之大小而決定，吾人雖在視網膜上無標尺可以直接測量，但可在眼睛之光中心（或稱波節點）上由物體張角間接測定而得。故在圖12—227中，物標h之視尺寸可由視角θ（*visual angle* θ）表示之，此角能用h/l項（圓周測定）表明之。故欲以肉眼見一物標儘可能的大，則須將物標置於近眼處儘可能與其清晰的視覺相合，即謂在“近點”上。此種清晰視覺之最小距離以正常視覺在10吋（250 *mm*）爲最宜，茲以D_V標示之。在此情況下，物標h之最大視尺寸爲h/D_V（弧度）。

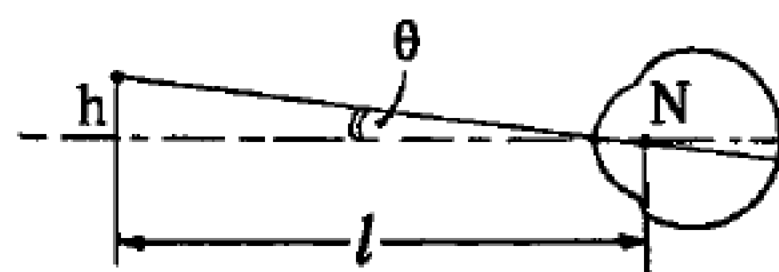


圖12—227

一物體之視尺寸

【視太陽日】(Apparent solar day)

太陽兩次通過同一子午圈所歷的時間是視太陽位置所經過的時間，叫做視太陽日；其1/24 爲視太陽時 (*apparent solar time*) 或簡稱視時。恆星時 (*sidereal time*) 等於春分點 (*vernal equinox*)的時角。以實用而言，這並不便於民間生活上的記時，故採用太陽時。

最古老的計時儀器除我國的漏壺外爲日晷，卽用太陽時角以量視太陽時。事實上不能製造一個機械的鐘使與視太陽一致，因太陽連續兩次上中天的時間間隔是不相等的。這個不相等的原因有二：一爲地球公轉軌道並非正圓，而是略呈橢圓形。地球軌道爲橢圓形其離心率比零略大。一個天體，在橢圓軌道上運行在其整個週期中的速度是不相同的。當地球運行最接近太陽時，卽在近日點 (*perihelion*)，比在距太陽最遠時，卽在遠日點 (*aphelion*) 爲較快。因此，當地球接近近日點時，太陽視運動每日在恆星天赤經方向中向東移動約 1°6.6′，而在遠日點時，其每日向東移動約 1°2.5′。這兩者之差 4′，相當於16時秒；這影響使視太陽日在正月 (近日點) 和七月 (遠日點) 之差爲 16 時秒。

另一個視太陽日每日長短不等的原因乃因地球赤道面對其軌道面有 $23\frac{1}{2}^{\circ}$ 的傾度 (黃道的傾度)。卽使地球在其軌道上環繞太陽公轉爲等速度運行，使太陽沿黃道等速向東移動，太陽連續二次上中天的時間間隔所以不能相等之故，乃係其時間上的增加爲沿天赤道上量度，而其相等的太陽位置的增進爲沿黃道上所發生的。假定地球在其軌道上以太陽均一的視速度沿黃道每日一度而運動。在三月二十一日太陽位置與春分點相重合。經過一日之後，太陽沿黃道運行一度，其位置爲赤道面之上方，地球除自轉一週 360° 外再加由春分點在沿赤道所量的角距。這角度不是 1°，由球面三角法 (球面直角三角形) 算得約爲0.9°或55′。因此在三月二十一日至二十二日的視太陽日，爲相當於 360° 加 55′ (如圖 12 — 228 (*a*))。三個月之後太陽在夏至點 (*summer solstice*

），其在沿黃道上每日 1° 的向東運行的距離與其沿赤道上向東運行的弧長相同（如圖 12 — 228 (*b*)）；於是，視太陽日爲相當於地球自轉一週 360° 加 60′。這由黃道傾斜所生兩視太陽日的差爲 5′或 20 時秒。

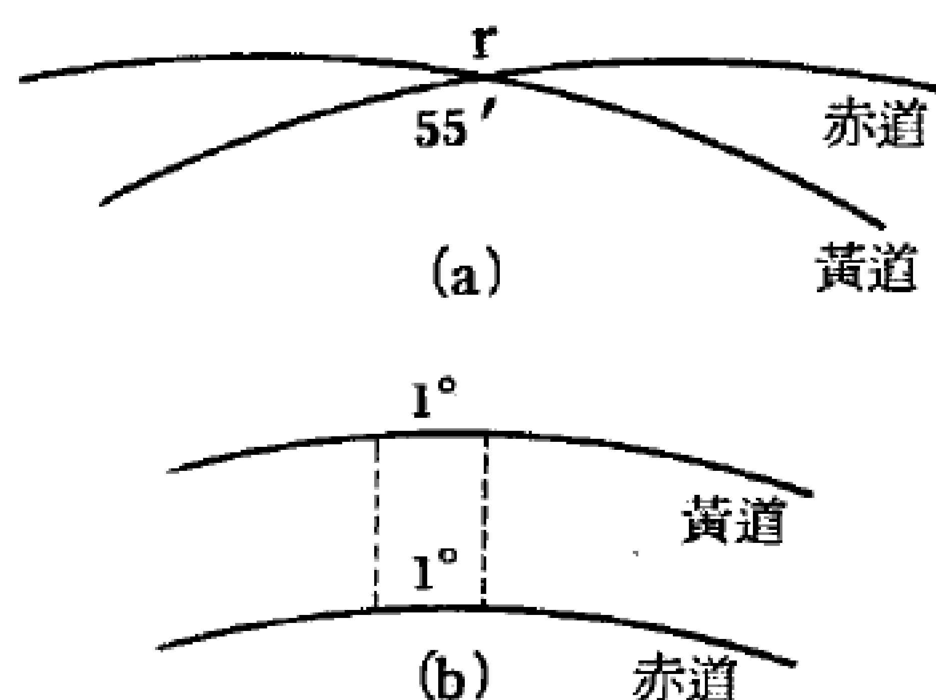


圖 12 — 228

天文學家爲消除視太陽日這兩種不規則的差異採用以太陽爲依據的均一時間，乃假定在一年中沿天赤道以等速運行的一個假太陽。其時角以平均太陽時（*mean solar time*）量度之。平均太陽日（*mean solar day*）之長爲恆星時的 24 小時3分56.555秒。一日開始時間用正子（夜半）比用正午爲便利，故將平均太陽時使之等於平均太陽的時角加 12 小時。因此，當平均太陽在天赤道上時，平均太陽時爲 12 小時，全年中視太陽時和平均太陽時的差異名爲時差（*equation of time*）。

在日常民間生活用平均太陽時不便處，爲不在同一子午圈上的各地點其時間亦不同。如臺北的平均太陽時爲 12 時，則在花蓮的平均太陽時將爲 12 時7分。爲避免接近的各地點間時間的差異，由國際間的同意乃用平均太陽時的改進時制。格林威治的平均太陽時，用作所有時間量度的基礎，並名爲世界時（*universal time*）。

【視太陽時】（Apparent solar time）

詳閱“視太陽日（*Apparent solar day*）”條。

【視功率計】（Volt-ampere-hour meter）

此電計包括電路上的眞功率和電路還給電源的電力。

【視角】（Visual angle）

物體之兩端對一眼所張角度稱爲視角，人利用視角之大小判定物體之大小，視角大即所見物體較大，視角小則所見物體較小。視角之大小

，最小不應小於弧度1分，否則我們的眼睛就不能再區別兩個點了。這是眼睛鑑別能力的極限。

假如要將視角放大，則須走近目的物，或把它移近我們的面前。如將物體移到明視距離，即約 25 厘米處，則恰好配合正常的目力，令人看去毫不費力。但如繼續移近時，眼睛就需要較大之調節，如移近約達 10 厘米時，眼之調節就完全停止。設在此距離視角仍保持弧度1分以下，則不假儀器的眼睛必將窮於應付。此時只有藉助於放在眼前的會聚透鏡，以增加眼球之彎曲度。將會聚透鏡接近於目的物時，可使其位於焦距以內。因此造成一個直立而放大之像。如此應用的會聚透鏡稱爲放大鏡，其任務就是放大視角。

【視重】(Apparent weight)

即物體作用的重力單位。若有一彈簧秤之下端結繩，繩之下端繫一質量m之物體，若繩之重量極小，可忽略不計，以加速度a及等速度v上升或下落時，設繩上之張力爲T達因，而物體之重力爲mg達因。

1. 以加速度a上升時，$T-mg=ma$

張力$T=m(g+a)$達因

彈簧秤上之讀數$W_e=\dfrac{m(g+a)}{980}$克

2. 以加速度a下降時，$mg-T=ma$

張力$T=m(g-a)$達因

彈簧秤上之讀數$W_e=\dfrac{m(g-a)}{980}$克

3. 以等速度v上升或下降時，$\because a=0$，由1.或2.式得：

張力$T=mg$達因

彈簧秤上之讀數$W_e=\dfrac{mg}{980}=m$克

由此可見，當物體有向上的加速度時，其視重大於本身實際重量；若加速度方向往下，則其視重小於實際重量。

【視時】(Apparent time)

卽視太陽時，亦卽視太陽日。

參閱“視太陽日(*Apparent solar day*)”條。

【視差】(Parallax)

因觀察者位置移動，兩遠近不同物體所生位置改變之現象稱爲視差。人利用視差判別兩個物體孰遠孰近。但若兩物體離觀察者極遠時，或兩物在同一位置上，則無視差。設吾人閉上左眼將右手伸直並且翹起大拇指，沿右眼與右手大拇指方向前視遠方一物，記著該物及其位置，然後閉上右眼張開左眼，則適才所視物體位置已告改變。此卽因視差之緣故。遠處之二物體不能直由大小辨其遠近時，可由其視差，利用三角法求其間距離，其法如圖 12 — 229 所示。

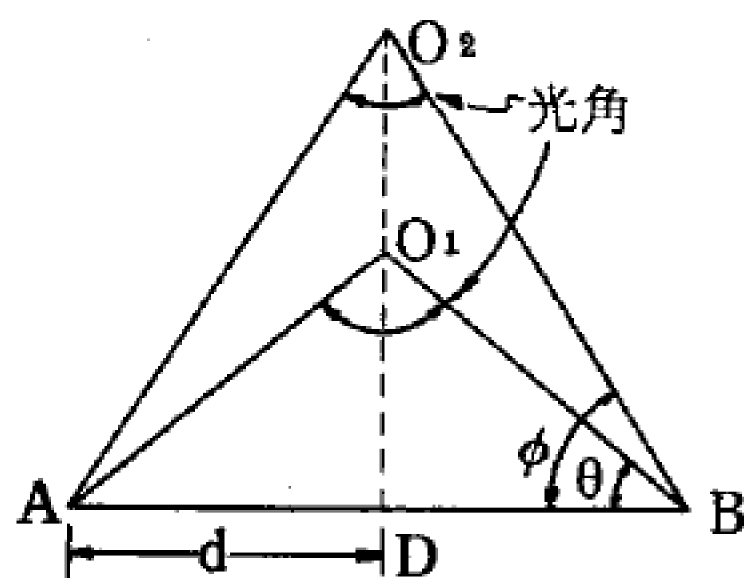


圖 12 — 229

$$\overline{O_1D} = d\ \tan\theta$$

$$\overline{O_2D} = d\ \tan\phi$$

【視深】(Apparent depth)

在透明介質中的物體，由於光線的折射，自介質外面觀看時，其位置與物體眞正的位置不合。物體到介質境界面處的眞正距離，稱爲實際深度(*true depth*)，簡稱實深，而物體的像到境界面的距離，稱爲視深。如圖 12 — 230，*AB* 爲介質 1 與介質 2 的境界面，*S* 爲在

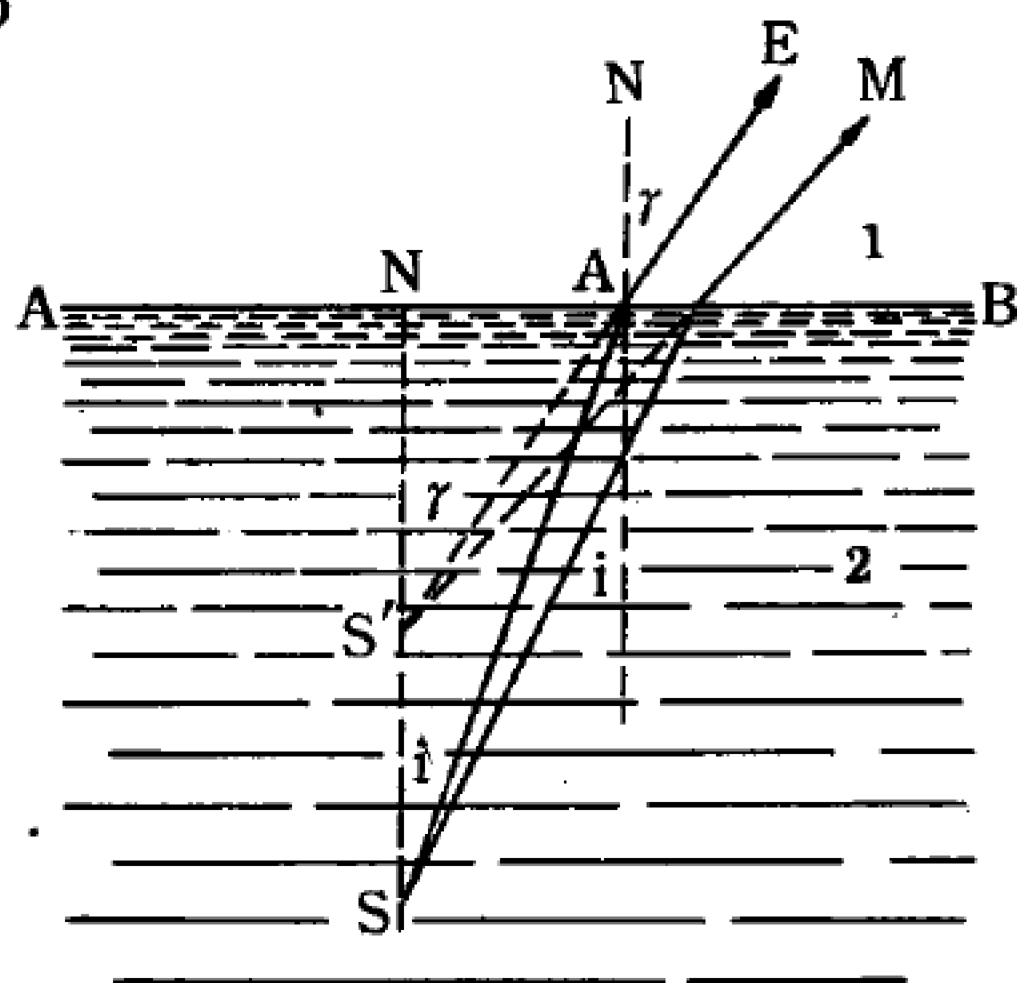


圖 12 — 230

第二種介質內的小光點，設我們從EM方向看到光點S好像在S'處，則S'點即是S點的像，故視深爲NS'。設i、γ分別表示入射角與折射角，n_{12}爲第二種介質對第一種介質的相對折射率，則

$$\sin i = \frac{AN}{SA} \qquad \sin \gamma = \frac{AN}{S'A}$$

$$\therefore \quad n_{12} = \frac{\sin \gamma}{\sin i} = \frac{SA}{S'A}$$

當i γ角甚小時 $$\frac{SA}{S'A} = \frac{SN}{S'N}$$

則 $$n_{12} = \frac{SN}{S'N} \qquad S'N = \frac{1}{n_{12}} SN$$

若由水面空氣中鉛直向下看時，因爲水的折射率爲$\frac{4}{3}$水內物體的深度，爲實深的$\frac{3}{4}$。

【視量】(Apparent size)

可見物體所顯示之量之大小。太陽和月球在空間視量略等。

【視場】(Field of view)

眼所能窺見之空間，名爲視場。

【視場透鏡】(Field of view lens)

圖 12—231 指出完全簡單的刻卜勒望遠鏡 (*Kepler telescope*)，在物鏡上入射有彼此毗鄰斜向平行的光線。經物鏡 L_1 折射後，三條光線相交於中間像的一點 Z_w (在望遠鏡之間的幻像專門名詞)

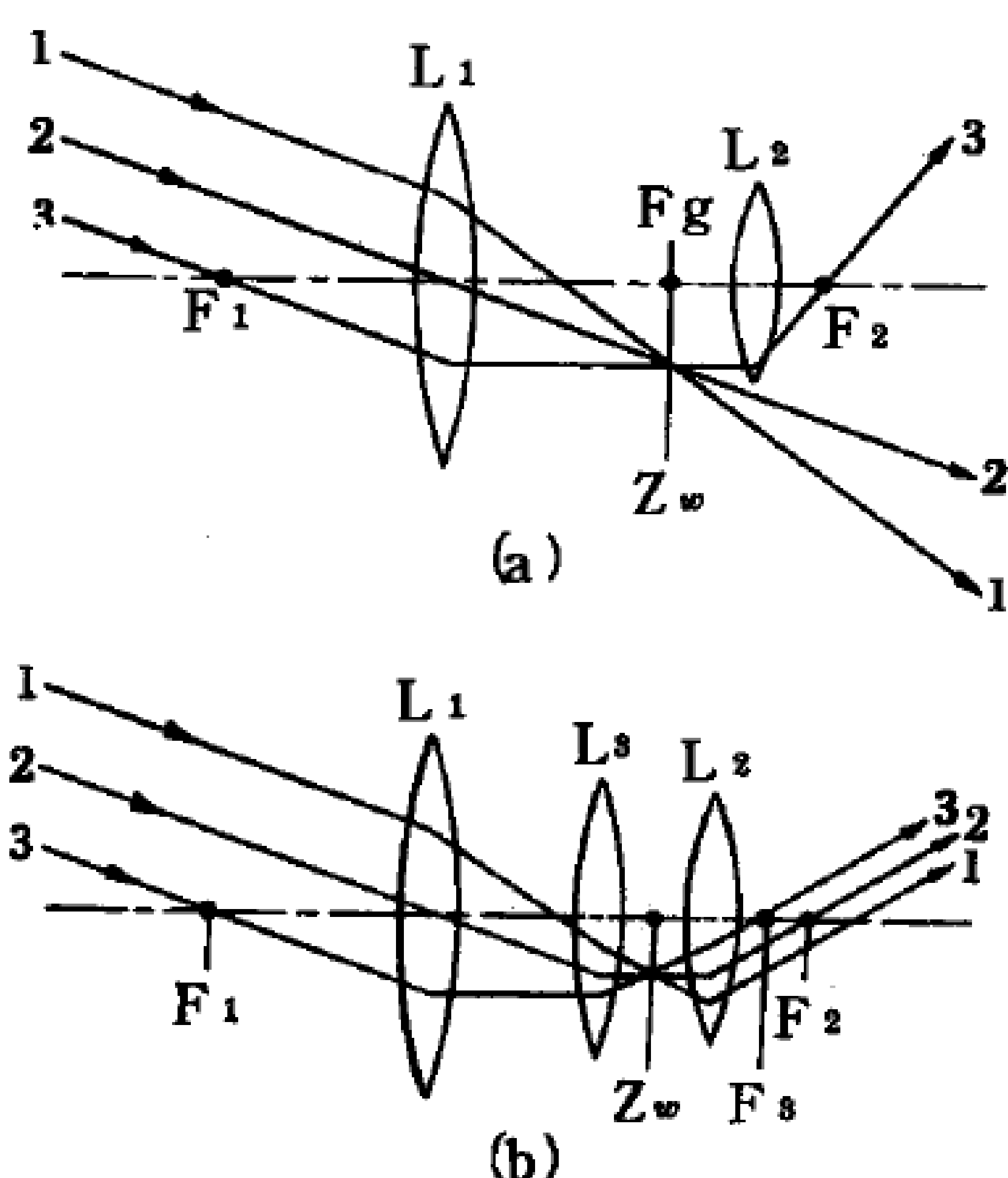


圖 12—231

，它的中間位於焦點 F_g ，在此交叉後仍是分開行進。

經由放大作用的目鏡 L_2 可以看見這中間像。但只能看到折射於目鏡 L_2 的光線，譬如光線3。光線1和2是由 L_2 旁邊通過，就不能看見。

若是在透鏡 L_2 前加裝一視場透鏡 L_3 於射入的光線上（圖12—231(b)），那麼光線未到達中間像 Z_w 前稍向中間偏向，於是現在光線1和2亦能經由透鏡 L_2 到達眼前。

因爲比之無視場透鏡有更多邊緣光線偏折至眼前，故亦可以在斜面向目鏡觀看，而像仍是留於原處。

這種像亦比較明顯，因爲所謂球面差（*spherical aberration*）亦由此調整了。光線已在目鏡間成交叉。原當作邊緣光線經由 L_3 透過的，而現在當作中間光線，但當作中間光線經由 L_3 透過的反而當作邊緣光線了。

結果由視場透鏡 L_3 所生的色差，亦由 L_2 調整，故整個目鏡有色差的矯正，但先前單獨透鏡 L_2 則無此功效。一種色差的矯正亦只能以同等材料構成的兩透鏡在一定的距離內裝置始見效，即是：

$$透鏡距離=\frac{第一透鏡距離+第二透鏡距離}{2}$$

惠更斯的目鏡（*Huygens' eyepiece*）有消色差的（*achromatic*）功效可作下面解釋：由目鏡的第一透鏡發生的視場透鏡的紅色光線，比之藍色光線有較弱的偏折。目鏡中兩透鏡間分解入射的白色光線，因此紅色和藍色光線分開行進。紅色光線碰上目鏡中的眼前透鏡，這透鏡是當作第二透鏡裝於視場透鏡之後，因此比之其所屬的藍色光線更多在邊緣。但每一透鏡折射的光線都是在邊緣較中間爲強。故紅色光線在第二透鏡比之藍色的有較強的偏折，而離開第二透鏡時則平行藍色光線射出。

因此，原本的色差矯正是發生在眼前：平行入射於眼中的光線，以及由第二透鏡射入觀看人眼中的光線亦會由眼中的眼球聚合於一焦點，而是準確在眼網上。所以紅色和藍色光線都相聚於眼網上的同一像點，在這裏又恢復原來的白色光線。

惠更斯目鏡比之單獨一透鏡的目鏡所有優點中，只有一缺點，即原來目鏡的放大率不能達到了，因爲視場透鏡將光線在中間像前已經偏折至中間，所以中間像縮小。運用惠更斯目鏡由於加裝視場透鏡降低它的放大率由 16.7 倍到 12.5 倍，差不多等於原來數值的 0.75。故刻卜勒望遠鏡用惠更斯目鏡的放大率，因此只仍有 6.5 倍。

【視運動】(Apparent motion)

恆星距銀河系中心愈遠者，繞此中心公轉的速度愈慢，所以環繞太陽四方向的恆星，運動速度各方向不同，太陽對此等鄰近的恆星，遂產生一種視運動。在此視運動中，太陽率太陽系全體，以每秒 19 公里的速度，奔向織女星西南方約 10° 處的一點，此點稱爲頂點（ *apex* ）。

【視網膜】(Retina)

眼睛內部整個系統的作用便是將不同距離物體的影像聚焦在視網膜上，再經由視神經傳至腦部，完成整個視覺作用。圖 12 — 232 是視網膜內部的放大略圖，視網膜上不同的部分其構造亦不相同；在視網膜外緣附近密度較大的東西，稱之爲桿狀細胞；在靠近下窪處，除了桿狀細胞外，我們還發現圓錐狀細胞。愈接近下窪處，圓錐細胞的數目就愈多，而

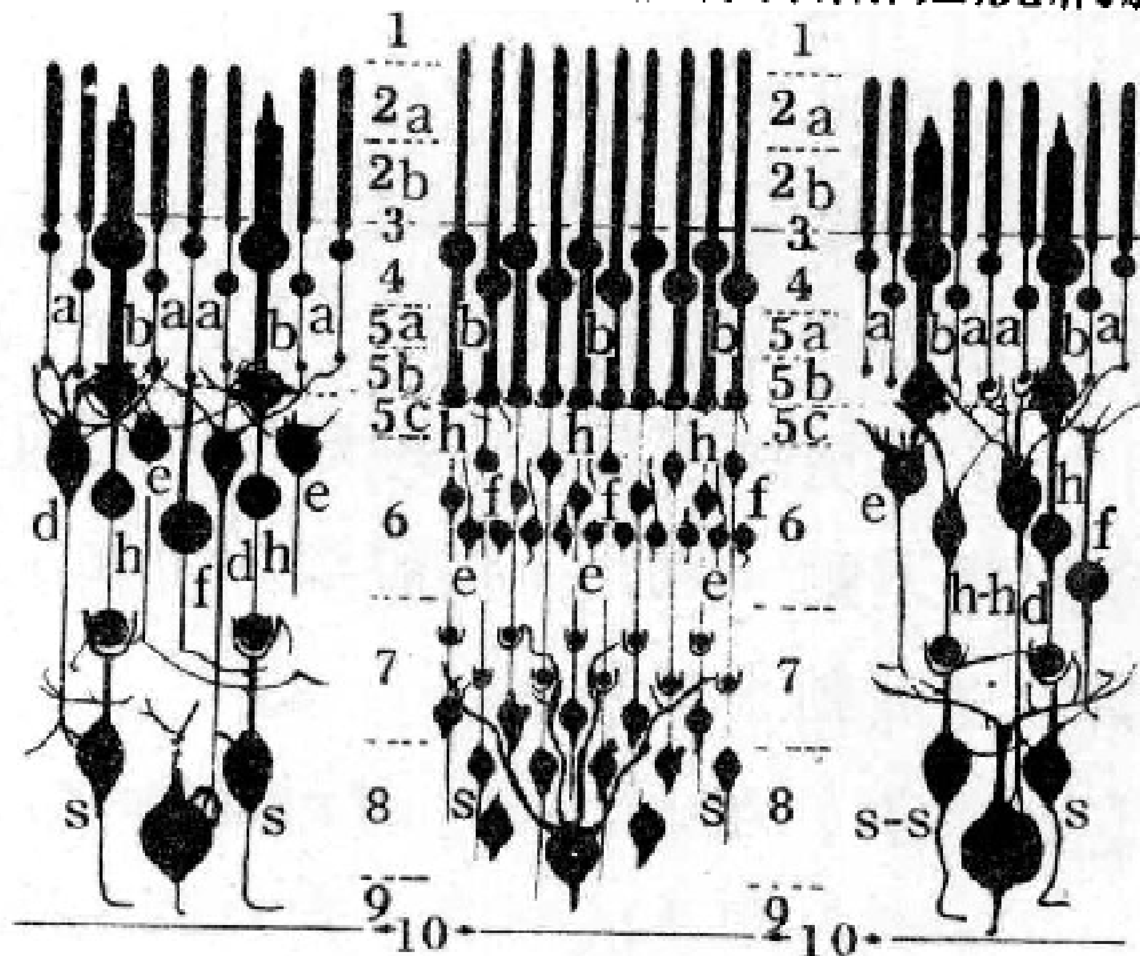


圖 12 — 232
視網膜的構造（光線從下方進入）

下窪本身則全是由圓錐細胞所構成，並且此處的圓錐細胞排列得非常緒

密，以致於變得比他處圓錐細胞要纖細得多。因此，在中央視區內是用圓錐細胞來觀察東西，但是到了外緣還有其他的細胞（桿狀細胞）。每一個能感光的細胞並不是由神經纖維直接連到視神經上，而是連到許多其他的細胞上，這些細胞本身又是互相連接的。視網膜中的細胞有數種：有些細胞是攜帶著資料向視神經輸送，而有些細胞只是互相平行地連接著；基本上一共有四種不同種類的細胞。我們現在所要強調的是光的信號一進入視網膜後立刻就被思考過了，那就是說，從各種細胞得來的資料並不是一點接著一點地直接向腦部輸送，而是在視網膜中就有一部分資料被消化了，將數個視覺接收器所得到的資料做一番組合。有一些大腦的機能是在眼睛本身中發生的，並不一定要全部留待腦部來完成。

【視線速度】（Radial velocity ; Line of sight velocity）

天體對觀測者接近或遠離之速率或速度比率，是爲物體之視線速度，在天文學上可以使用分光儀（*spectroscope*），看天體譜線之移動狀況測定之。

視線速度以每秒若干哩或公里計。當譜線朝紅端移動時，以“＋”號表示，是物體作遠離運動；反之，當譜線朝紫端移動時，卽物體與地球逐漸接近，符號用“－”。

譜線之位移量與視線速度成正比。

【視線運動】（Radial motion ）

當恆星之運動朝向地球接近或遠離時，在空間之位置未有改變，稱爲視線運動。因此，循視線方向無法直接觀測其移動量，而必須從恆星譜線之變動予以判定。

【視頻】（Apparent frequency ）

卽聽者聞及的音調。當音源、聽者或介質間有相對運動時，則視頻卽與原有頻率不同。令

f_s ：聲源振動所生之頻率。

μ_s ：聲源移動之速度。

V ：聲音傳播之速度。

μ_0 ：聽者遠離聲源的速度。

f_0 ：聽者所聞及之頻率。

則在每一秒內，聲源所發生之波列，因聲源已行μ_s之故，其所分佈之距離為$V-\mu_s$，故各波之波長為$\lambda=\frac{V-\mu_s}{f_s}$ 。此波列之傳播速度仍為V，惟因聽者以每秒 μ_0之速度遠離聲源而進行，故經過聽者之波數，只有 $f_0=\frac{V-\mu_0}{\lambda}=f_s\left(\frac{V-\mu_0}{V-\mu_s}\right)$個，是卽聽者所聞及之音之頻率。

【視頻放大器】(Video-frequency amplifier)

視頻放大器與電阻電容耦合聲頻放大器極相似，它們之間最大不同之處卽是一視頻放大器係設計用來放大畸形波(*distortion wave*)的，這些畸形波叫做脈衝波(*pulse wave*)或方波(*square wave*)。如用普通的聲頻放大器來放大，則由於高或低頻響應的不佳，對於這些波形將會引起失眞。

法國數學家傅立葉(*Fourier*)曾指出這些畸形波可由各種不同頻率的正弦波(*sine wave*)組合而成；譬如方波，其中有高於方波頻率十幾倍的一些正弦波，所以要放大方波而不致產生失眞的放大器，它所放大頻率的範圍必須包括組成方波的基本頻率(*fundamental frequency*)和所有的正弦諧波(*harmonics*)。

電視發射臺所發射的圖像信號是一連串的脈衝波，它是代表圖像的明暗部分；這些脈衝波由電視接收機天線接收，經視頻放大器放大，輸送至收像管把電臺發射的圖像重現。

在電視機中，圖像的特性一部分和視頻放大器的性能有關，如放大

器使脈衝波失眞，則顯示的圖像就失卻淸晰明細。

視頻放大器的次一重要應用是用在示波器中，示波器中的垂直放大器必須將輸入信號放大而不產生失眞。如輸入信號為一失眞的正弦波或方波，示波器的作用，就是要把它們眞實的顯示在幕上，所以在示波器中，垂直放大器必須使用視頻放大器，才能放大各種波形而不致失眞。

視頻放大器最重要應用之一是用在雷達設備中，各種雷達，無論它用作搜索或火力控制，都包含視頻放大器。雷達回波是銳形脈衝，放大器必須保持回波原狀，雷達觀察員才能由目標折返的回波而獲得確實資料。

只有視頻放大器才能放大脈衝波或方波而不致失眞，沒有其他的放大器更能適合於示波器，電視、聲納、雷達、電傳打字機、長途航行儀及照相傳眞設備中視頻放大器的性能要求。

【視頻放大器的脈衝響應】(**Pulse response of video frequency amplifier**)

正弦波是逐漸正負交變的波形，無論是電壓或電流，只要是正弦波，都是正負交變重複不已。正弦波交變兩次就稱為一週（也就是從零變為正，正變為零，零變為負，負再變為零）。脈衝是一個電壓或電流突然變化的電波，同形的脈衝可能重複出現，或者是只出現一次。最簡單而不重複出現的脈衝就是圖 12 — 233 (*a*)的步級（*step*）電壓或電流的波形。如果將一個電壓表、開關及電池連接在一起，突然將開關接通（*on*）就可得到步級電壓。在開關未接通以前，電壓表上所指示的電壓為零，在某一時間（t_1）忽然將此開關接通，電壓表即立刻指示出電池的最大電壓值，並且繼續指示零電壓改為指示電池的電壓，必定需要花費一段時間，即使是最靈敏的電壓表也需花費些微的時間，但純理想的步級電壓是由零不花時間即達其最高電壓。所有方波（或長方波）都有即時升到最大波幅的特性。在實用上圖 12 — 233 (*b*)左方的方波（或長

方波）比步級波容易得到。

圖 12 — 233 的波形都不是正弦波，通稱爲非正弦波形（*non-sinusoidal waveform*）。在視頻放大器沒出現以前，法國的一位偉大數學家傅立葉（*Fourier*）曾用不同頻率的正弦諧波合成此種非正弦波形的脈衝，各諧波間頻率的比可能爲 1、2、3、4 等，或爲 2、4、6、8、10…… 等，或爲 1、3、5、7、9……等。如想用數學方法求得圖 12 — 233 的方波或長方波，必須用無窮多不同類頻率的正弦波合成才能得到。無論是用數學或放大器來合成方波（或長方波），如果正弦諧波越少，所合成的方波（或長方波）的失眞就越大（越不像方波）。因此放大器的作用頻率範圍與方波（或長方波）的重現有密切的關係。如果輸入電波爲方波（或長方波），因放大器的作用頻率範圍太狹窄，只有方波中的部分正弦諧波可達輸出端，由輸出的部分諧波再合成的方波（或長方波），與原輸入的方波在形狀上就有很大的出入。所以放大器的頻率範圍（頻帶寬）越大，輸出電波的波形與原輸入的波形比較失眞越小。

如果一步一步的繪製放大器之頻率響應曲線，是一種很艱苦的工作。相反的，如果將放大器方波輸出電壓加在陰極射線管上，然後從陰極射線管之螢光屏上看其所顯示之波形或此放大器之頻率響應就非常簡單了，至少可從陰極射線管所顯之方波與放大器之輸入方波作一比較，就可知道兩者之間的差異，也就可知此放大器之頻率響應的好壞。此種用陰極射線管之方法是比較常用的。一般視頻放大器所需放大的電波，多爲較複雜的脈衝波，如雷達及電視等的視頻放大器，所以需用方波來試驗放大器的頻率響應。

當一理想的方波送入放大器後（見圖 12 — 233 (*b*)），一般放大器的輸出方波是一個失眞的變方波（見圖 12 — 233 (*b*)）。放大器所輸出的失眞變方波之主要特點有三：(1)方波波幅的上升與下降必須花費一定

的時間，絕非隨輸入的理想方波而即時上升或下降，(2)失眞方波的左上方有過高部分，右下方有過低部分出現（見圖 12 — 233 ）之實線失眞方波，虛線方波爲輸入放大器的原來方波，(3)失眞方波的波幅不平穩，隨時間（ *t* ）的增加而有弛垂（ *sag* ）。放大器輸出的失眞方波往往同時具有此三種缺點。

當理想方波(此理想方波幾乎可得到)加在放大器的輸入端後，輸出方波上升到波幅所需之時間稱爲上升時間（ *rise time* ），可用上升時間表示放大器使脈衝重現的能力。放大器對於突然上升脈衝波的最初響應，稱爲暫態響應（ *transient response* ），暫態響應與放大器的頻帶寬有密切的關係。放大器所輸出方波的上升時間，是以從其最大波幅 10%上升到 90 %所需的時間爲準，而輸出方波的過高部分與過低部分不算在最大波幅之內。因此方波的上升時間與放大器的頻率寬成反比，如果輸出方波的過高及過低部分爲零或非常的小，可用下列公式算出大約的上升時間：

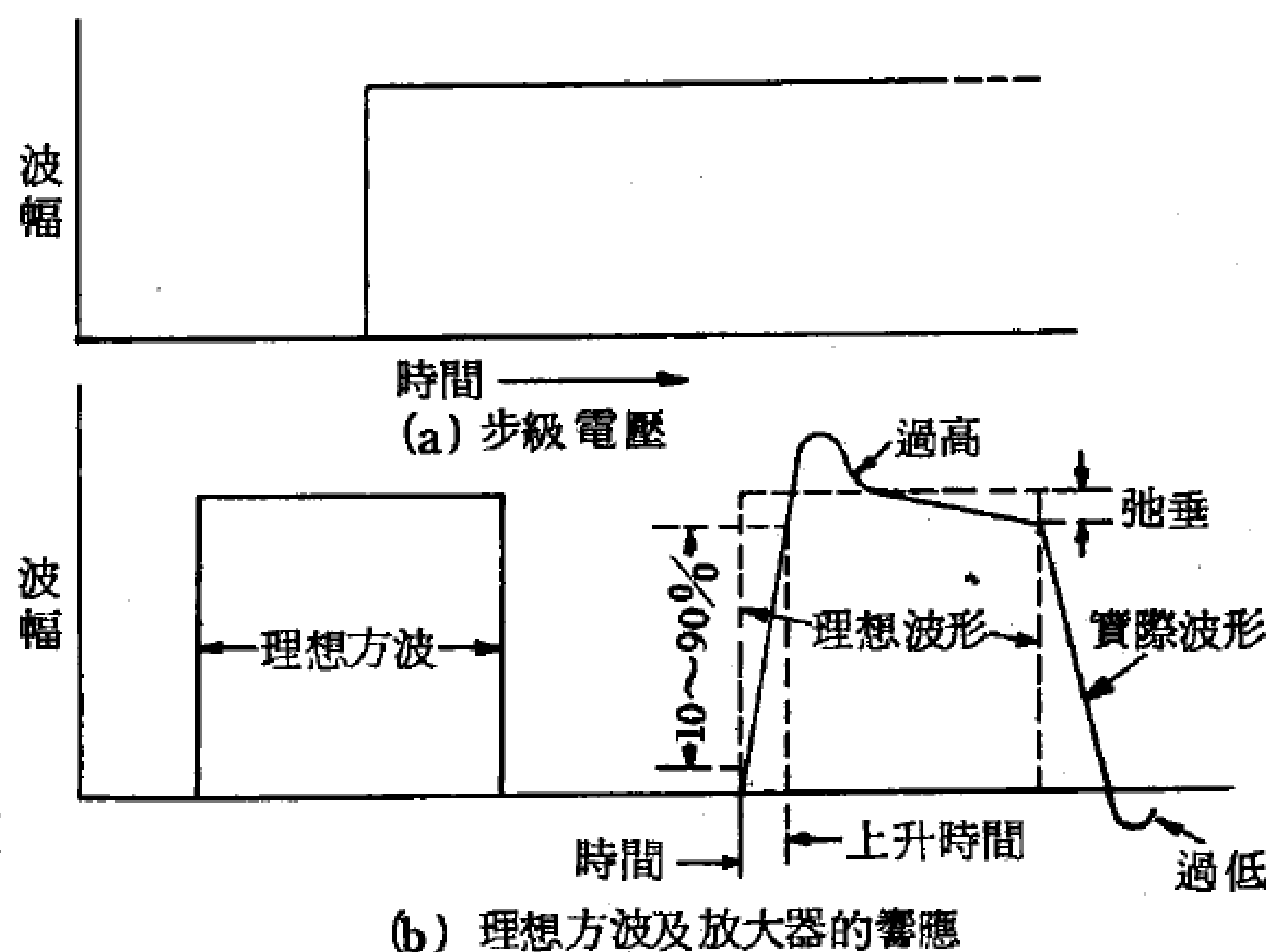


圖 12 — 233

$$上升時間（秒）= \frac{0.35}{頻帶寬}$$

上式所用的頻帶寬就是放大器的最高作用頻率（實際上，應該是最高作用頻率減低頻率，但一般最低作用頻率太小，可忽略不計），其單位是赫茲，同時總響應不得低於中頻（ *medium frequency* ）最響應

的70.7 %，也可用0.35 除以上升時間，求得以每秒赫茲爲單位的頻帶寬。

放大器輸出方波或長方波過高部分的大小，與放大器對於高頻率的響應，及放大器的電容與電感所造成之相移（ *phase shift* ）有關。在高頻率時一放大器之頻率響應如稍有降低，加上微小的相移，即造成輸出方波或長方波波幅微小過高部分出現。有過高部分的出現就同時有過低部分出現。最後，輸出方波或長方波之波幅的弛垂與放大器所造成的相移及低頻率響應有關。如果放大器的低頻率響應良好，則波幅弛垂就小，因而可得一較平的波幅。

【視頻脈衝】(Video pulse)

電視中組成影像信號的短時電脈衝，其持續時間大約在一微秒左右。視頻脈衝這個名詞現在應用的範圍要更廣一些，它泛指一切用來對脈衝發射機進行調制的短脈衝或是接收脈衝輻射時所得到的短脈衝。

【視膨脹】(Apparent expansion)

在燒瓶上裝一玻璃管（如圖12—234)後，放入已測知溫度的液體，然後將整個燒瓶放入熱水中，我們就可以觀察出：原先的液面A先降低至B，然後上升至C。從A降低至B是由於燒瓶的體膨脹所致，而從B上升至C是由於液體的眞正膨脹所致。自原先的液面A變至最後的液面C，稱爲視膨脹，因此

眞正膨脹＝容器的膨脹＋視膨脹

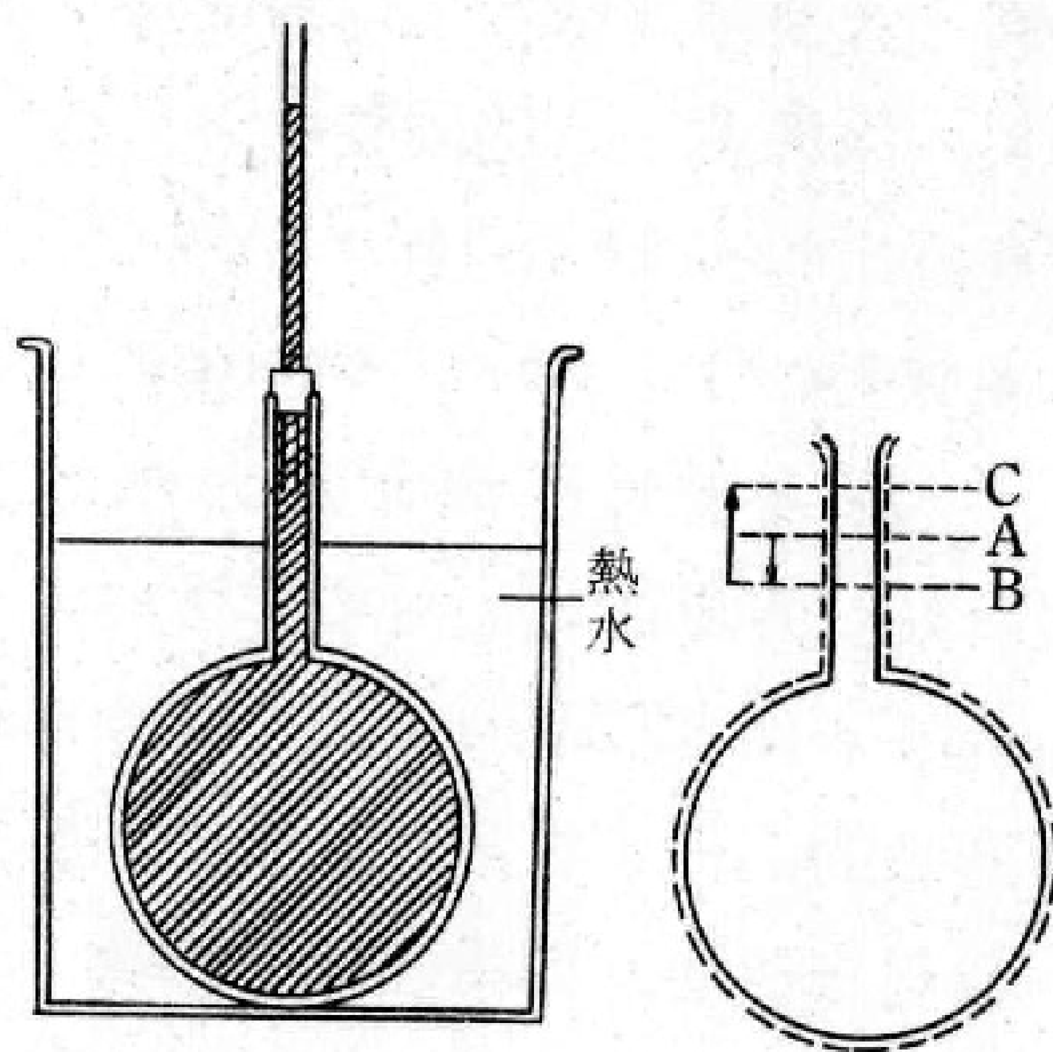


圖 12 — 234

可見物體之視膨脹恆較其眞實膨脹小。

【視燭光】(Apparent candle power)

一種測量等亮度的方法，以點光源作標準，而度量非點光源的亮度。

【視覺校準法】(Visual alignment)

電視接收機中頻及射頻電路的校準，普通採用視覺校準法。接受校驗的電路，在螢光幕上觀察到其響應曲線，立即確定該級有無失調，此種校準法非常方便。

校準使用的工具有示波器、掃描頻率產生器和標誌產生器，一同使用，有些廠商將此三種工具裝在一起，對修理或裝配電視接收機十分便利。

【視覺敏銳度】(Visual acuity)

測定物標在未使用任何光學幫助前人眼所能看見的最小尺寸，可用照相的或一數量幕屏其上有明暗相間之線條，線條寬狹由每吋 100 條至 300 條，而每一增加階段為每吋 40 條。若此等幕屏依次對準一光亮 (10 呎燭光) 照明之紙表面，在距眼睛 10 吋處，則恰可看清幕屏上的線條。大多數觀察者可以看清每吋 260 線條 (或約 1 *mm* 的 1/10)，相當於人眼弧的一分的視覺敏銳角 (*visual acuity angle*)，但有些人僅能看出每吋 140 線條，則僅相當於弧之兩分的視覺敏銳度。

【視覺暫留】(Persistence of vision)

人類之視神經經光線之刺激，在網膜上所生像之感覺，並不於光線消失後同時消滅，尚可保持稍長於 $\frac{1}{20}$ 秒之時間，此即所謂視覺暫留。例如，火車頭噴出來的火花，看去就好像長條的火線。一個急速作圓周運動的火把，也會令人發生一種有如光環之錯覺。正是由於同一理由，我們才能看到流星的軌跡劃破了長空。由前舉各例可知從運動中的發光體軌道上各點發射之光，能使我們的視神經感受之刺激略作暫留，而在眼中引起一串連貫的印象。如圖 12 — 235 所示之走馬燈就是根據這個道理製成的。自燈筒周圍的許多狹縫中可以看見內壁所畫之像，後者

是一組表示連續動作的圖片。如將燈筒轉動，則各圖片看去令人有彼此啣接而構成眞正動作之感覺。由此可見，當靜止的圖畫連續不斷的快速動作時，便會給人一種活生生的運動感。

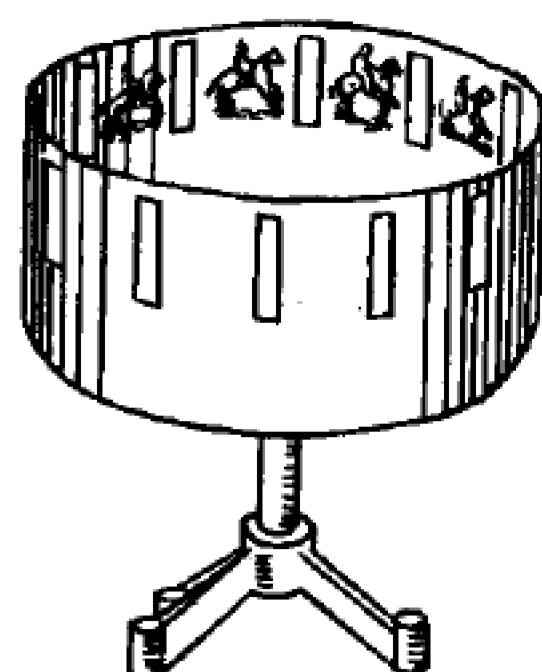


圖 12—235
走馬燈經過急速的轉動，使眼睛覺得燈內原是靜止的人物畫像，都變成栩栩如生。

這也是電影的基本原理。它是利用一架放映機將膠片上所攝具有連續動作的景物，按每秒鐘放映16至25幅的速度投射於銀幕上，我們的眼睛就將這些動作集合成為活動影像。放映電影時所用之膠片，兩側各有一排小孔，以便捲片筒上的輪齒插入洞中而捲送膠片。膠片上的像帶之旁另有錄音帶，可供將所錄之音重行發出之用。

【費子】(Fermions)

在電子的場合，我們必須用逆對稱的波函數(*wave function*)，那就是說，兩個電子的狀態我們必須用它的逆對稱波函數來表示，其實所有自旋量子數是$\frac{1}{2}$的粒子，或是其他半整數，如$\frac{3}{2}$等均屬於此類，這種粒子我們稱為費子，亦稱費米子。如果有N個費子的狀態，則這種完全逆對稱的波函數可用一個行列式去寫出來，設N個粒子的狀態為α，β，……ν，則

$$\Psi_A=\frac{1}{\sqrt{N!}}\begin{vmatrix}\Psi_\alpha(\vec{x}_1) & \Psi_\alpha(\vec{x}_2) & \cdots\cdots & \Psi_\alpha(\vec{x}_N)\\ \Psi_\beta(\vec{x}_1) & \Psi_\beta(\vec{x}_2) & \cdots\cdots & \Psi_\beta(\vec{x}_N)\\ \vdots & \vdots & & \vdots\\ \Psi_\nu(\vec{x}_1) & \Psi_\nu(\vec{x}_2) & \cdots\cdots & \Psi_\nu(\vec{x}_N)\end{vmatrix}$$

行列式的寫法自動地表現出逆對稱的性質，因此我們可以放心Ψ_A是對任何兩個粒子的互換都是逆對稱的，$\frac{1}{\sqrt{N!}}$因數是為了使Ψ_A歸一。

質子和中子都屬於費子，即各有自旋角動量$\frac{1}{2}\hbar$，並遵守費米、狄

悅克（ *Fermi-Dirac* ）統計力學和互斥原理（ *exclusion principle* ）。除了自旋角動量之外，它們在原子核內尚有軌道角動量，其量子數爲整數。原子核的合成總角動量通常簡稱爲原子核的角動量，其量子數以 j 表之；若 A 爲偶數，則 j 是整數；A 爲奇數，則 j 爲半整數（ 1/2 的奇數倍）。總角動量 $|L_j|$ 可表之爲

$$|L_j| = \sqrt{j(j+1)}\,\hbar$$

沿一特定方向，我們可量得角動量的分量爲不連續值 $-j\hbar, (-j+1)\hbar, \cdots\cdots, j\hbar$，故角動量的 Z 分量爲 $L_z = m_j\hbar$，$m_j = -j, -j+1, \cdots\cdots, j$，一共有 $2j+1$ 個分量狀態。

除了軌道角動量的宇稱（ *parity* ）之外，每一個粒子的本身也可以有它自己的宇稱量子數，這個宇稱量子數的決定，有一部分是由慣例而來，有一部分是由實驗而定。實驗顯示，質子與中子的宇稱是一樣的，都可以被定爲＋1。

【費米】（ Enrico Fermi 1901—1954 ）

義大利物理學家，1901年九月二十九日出生於羅馬，十七歲入大學，1922 年在比薩（ *Pisa* ）大學獲博士學位，後遊學德國哥丁根及荷蘭來登，返國後，任教於羅馬大學。費米的物理才華是多方面的，治學極廣，且均出類拔萃。1926年發現了有名的費米統計定律，後來又首先認知大量產生核子能量的可能性取決於用來誘導核子變化的中子之效率。同時發現雖然當時能獲得的中子源相當微弱，但因長射程和不受核電荷排斥的事實，將比 α 粒子和其他帶電質點具有更大的優點。1934 年又導出貝他衰變的理論；經過實驗，發現由中子引發的人工放射性（ *artificial radioactivity* ），由於此項成就，費米獲得 1938 年的諾貝爾物理學獎。此時法西斯黨已在義大利當權，費米夫人是猶太人，不堪其苦，乃趁出國領獎機會，全家遷往美國，任教於哥倫比亞大學。1942 年往芝加哥大學，在他領導下，可控制的原子核分裂反應器發展

成功，從此人類進入原子能時代，也由於此項成就，導致第二次世界大戰的結束。戰後費米的興趣又轉往高能物理學及原子核物理學，且均成就非凡。1954 年十一月，獲得美國原子能委員會所頒給的第一屆特殊成就獎，十二天以後因胃癌與世長辭。

費米對於物理的貢獻是不可估計的，無論在理論或實驗上，都是最傑出的。此外費米還是一位好老師，出自他門下的學生亦均是優秀的物理學家，我國著名的物理學家楊振寧和李政道都是他的得意門生。二十世紀以來能在如此多方面均有成就的，除費米以外不作第二人想。爲了紀念他在原子核物理學方面的成就。“費米”常用作長度和面積之單位。在長度單位中一費米等於 10^{-13} 厘米以 *f* 表之；而在面積單位中等於 10^{-24} 平方厘米，又稱爲邦（*barn*）。

【費米、狄悅克氣體】（Fermi-Dirac gas）

適合費米、狄悅克統計力學的氣體。

【費米、狄悅克統計力學】（Fermi-Dirac statistics）

適合反對稱粒子的統計力學，爲費米和狄悅克共同發展而成。

【費米、狄悅克分佈】（Fermi-Dirac distribution）

在熱力學第二定律顯示，所有的封閉系統均趨向於熵爲最大的狀態（趨向於最大亂度）；換言之，當系統在平衡狀態時，其熵必爲最大值。由此定律，再加上機率的知識，統計力學陳示，一平衡物系其內部成分在某種微觀狀態的機率（稱作分佈函數）。對於不同的物系，其所得之分佈函數也不盡相同。對於適合庖立不相容原理（*Pauli's exclusion principle*）之不可分辨的質點（通常稱爲費子），就要用費米、狄悅克分佈函數，此函數爲

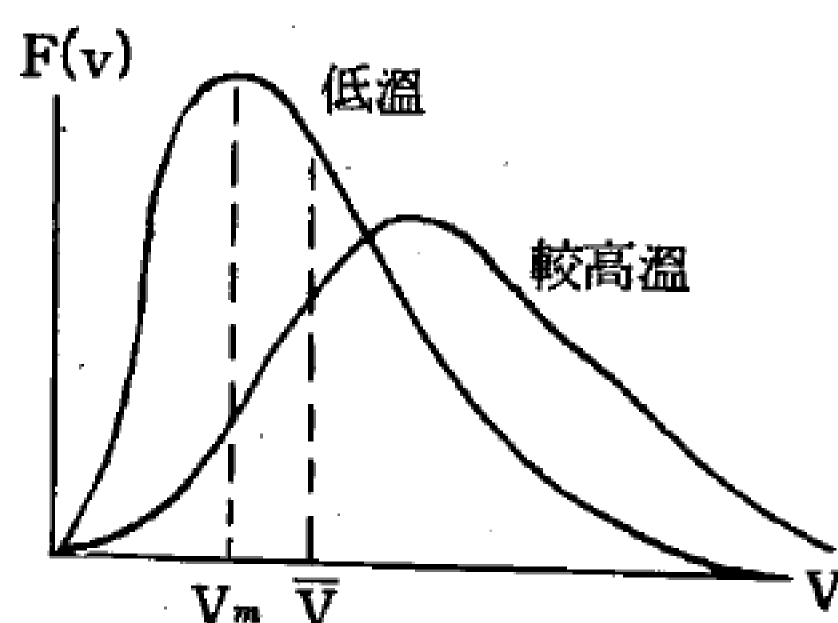


圖 12 — 236

$$f(\varepsilon)=\frac{1}{e^{(\varepsilon-\mu)/kT}+1}$$

這就是在熱平衡時，能量爲ε的狀態被費子所佔據的機率。在絕對零度時，它是一階躍函數（*step function*）。高於絕對零度時，在ε接近於μ處是滑順曲線，當$\varepsilon-\mu\gg kT$時，$f(\varepsilon)\cong e^{(\mu-\varepsilon)/kT}$，此函數變爲馬克士威、波茲曼分佈函數（*Maxwell-Boltzmann distribution function*），如圖12—236所示。

因電子是費子，故可用此分佈函數解釋許多關於電子在金屬內的性質。

【費米子】（Fermions）

即費子。

參閱“費子（*Fermions*）”條。

【費米共振】（Fermi resonance）

是在多原子分子中，屬於不同振動的泛音振動（或多種振動的組合），可能有幾乎相同的能量及對稱性。此時各振動之狀態函數有顯著的混合，導致各狀態能量的變化及光譜強度的重新分配。

【費米年積】（Fermi age）

假設在減速時所需碰撞的次數甚多，能量遞減的中子減速過程可視爲連續過程。在石墨體中此假設甚合乎實際情況，但在普通水中則否。再者不考慮中子因被緩速劑吸收而導致的損失。設$n(r,u,t)$爲中子在r處時間爲t時的密度，而其能量範圍介於u及$u+du$之間（$u=ln\frac{常數}{E}$）。則在無中子源的空間中有以下之平衡式

n隨時間的變化＝由擴散作用n隨時間之變化

＋由減速作用n隨時間之變化

$$\frac{\partial n(r,u,t)}{\partial t} = -D(u)\nabla^2 n(r,u,t)\,du + \frac{\partial q(r,u,t)}{\partial u}\,du$$

式中 $\frac{\partial q}{\partial u}$ 可以下述幾點說明：

$q(u)$稱為減速密度，為中子減速時單位體積中每秒經過 u 的中子數，而 $q(u+du)$ 為中子減速時單位體積中每秒經過 $u+du$ 的中子數，故在 du 區間內中子數的損失為

$$q(u) - q(u+du) = -\frac{\partial q(u)}{\partial u}\,du$$

在 n 不隨時間變化的情況時則有：

$$\frac{\partial q}{\partial u}\,du = D\nabla^2 n\,du$$

換言之，在由高能量的中子經減速而至 du 區間內的中子有部分以擴散方式自 r 處消失。

由 $n = p/\Sigma_s v\xi$（v 為中子速度，Σ_s 為散射截面積，$\xi = \ln E_1/E_2$，E_1 與 E_2 分別為發生碰撞前後中子的能量）得

$$\frac{\partial q}{\partial u} = \frac{D}{\Sigma_s v\xi}\nabla^2 q$$

現引入新變數 τ，稱為費米年積

$$d\tau = \frac{D}{\Sigma_s v\xi}\,du$$

$$\tau = \int_{u=0}^{u} \frac{D}{\Sigma_s v\xi}\,du$$

而得費米年積方程式

$$\nabla^2 q(r,\tau)=\frac{\partial q(r,\tau)}{\partial\tau}$$

此方程式聯接減速密度（q）及 τ 。τ 表示與中子在減速過程中所經路徑長度的關係。其與中子減速至 u 時所需的時間自然有密切關係。下表列出在不同物質中由分裂中子減速至熱中子之費米年積的值。

物質	H_2O	D_2O	Be	BeO	C
費米年積（厘米^2）	31.4	125	97.2	105	364

【費米空洞】（Fermi hole）

在固體能帶內的一空洞。

【費米面】（Fermi surface）

費米面就是在 k（波動向量）空間，晶體內電子能量分佈為 E_F（費米能量）的等能面，此即在絕對零度時電子所能佔據的最高能階在 k 空間的圖形。

每一晶體的能帶在 k 空間的分佈均可能非常複雜，能帶與能帶亦常有重合，低能帶的最高能量可能大於高能帶的最低能量，所以在費米面上不同部分的電子狀態可能隸屬於不同的能帶，因此費米面的形狀就更為複雜。由

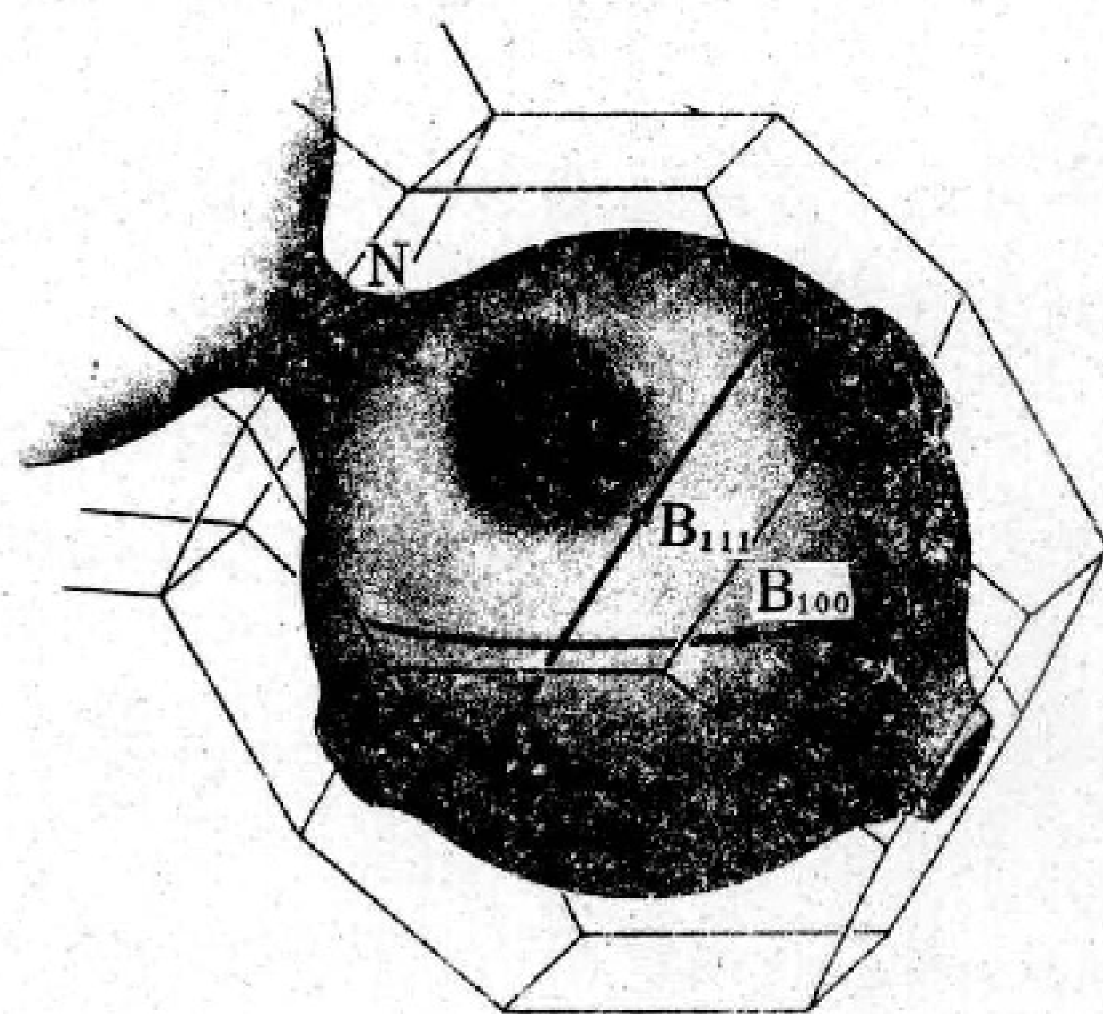


圖 12 — 237

庖立不相容原理（*Pauli's exclusion principle*）可知，只有在費米面附近的電子始有機會自由移動，許多物質的性質均由這些電子的運動決定，所以對於費米面的研究在固態物理中是非常重要的課題。圖 12 — 237 所示為銅之費米面。若要以較具體的例子來說明的話，我們可以

先討論一個想像的一度金屬（ *one-dimensional metal* ）中電子的差異，如圖 12 — 238 所示，將電子逐一放入一根長 7.2 厘米的管中，設若管甚細，電子只能在橫方向移動，在此一假想情況下，電子的相異情形則為已知，電子速率的差異最少應為每秒一厘米（ *cm/sec* ）。如一個電子以 10 厘米／秒的速度運行，則其餘在同一方向運動的電子，最相近的速率為 9 厘米／秒或 11 厘米／秒。設我們能如大自然般以最小的能量將 1,000 個電子放置於此小管中，這些電子的速度必須儘可能的小，於是我們有 500 個電子以負速度向左運行，另有 500 個電子以正速度向右運行，且每個電子的速度各不相同，其數值將為 − 500 厘米／秒，− 499 厘米／秒，− 498 厘米／秒……＋ 499 厘米／秒，＋ 500 厘米／秒（假如我們將速度為零的一個電子計入，則共應有 1,001 個電子）。

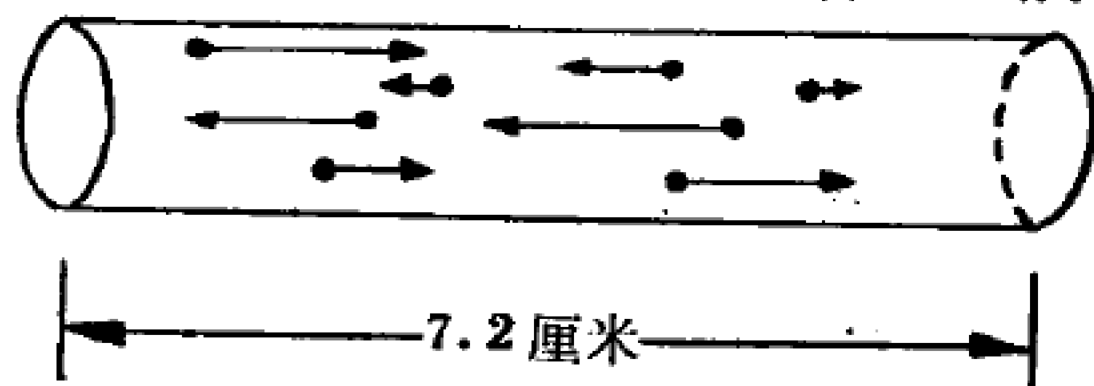


圖 12 — 238
長 7.2 厘米，含有數個電子的小管，管中的電子速度均不相同。

如果我們要更多加入一個電子，由於這一各不相同的物理原理，這一新電子的速率至少須為 501 厘米／秒。假如我們加入一個速度為 550 厘米／秒的電子，於是每當此電子碰擊到其他物體時，它即會失去一部分動能，直到它的速度減到 501 厘米／秒為止，此後即不會再失去任何能量，否則即與其他電子的情形完全相同，而這是不可能的。

同此，我們將一每邊長 7.2 厘米的立方體中的電子速度一一列舉，可是由於電子有 *x*、*y* 及 *z* 方向的分速，我們需要一個立體表格才能達成任務，其差別條件（不相容原理）是任何兩個電子在 *x*、*y*、*z* 方向的分速均不相同。由於立方體每邊長 7.2 厘米，在 *x*、*y*、*z* 方向的分速都有 1 厘米／秒的差別。表示這 1 厘米／秒差別的方法是如圖 12 — 239 所示，將每一速度用立體速度圖（ *three-dimensional velocity graph* ，又稱為速度空間 *velocity space*）中的一點來表示，於是電

子的速度形成一立體形的網絡（ *net - work* ）。由圖可見任何兩點的距離均不少於每秒一厘米。

每一電子的動能是

$$E=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\,(v_x{}^2+v_y{}^2+v_z{}^2)$$

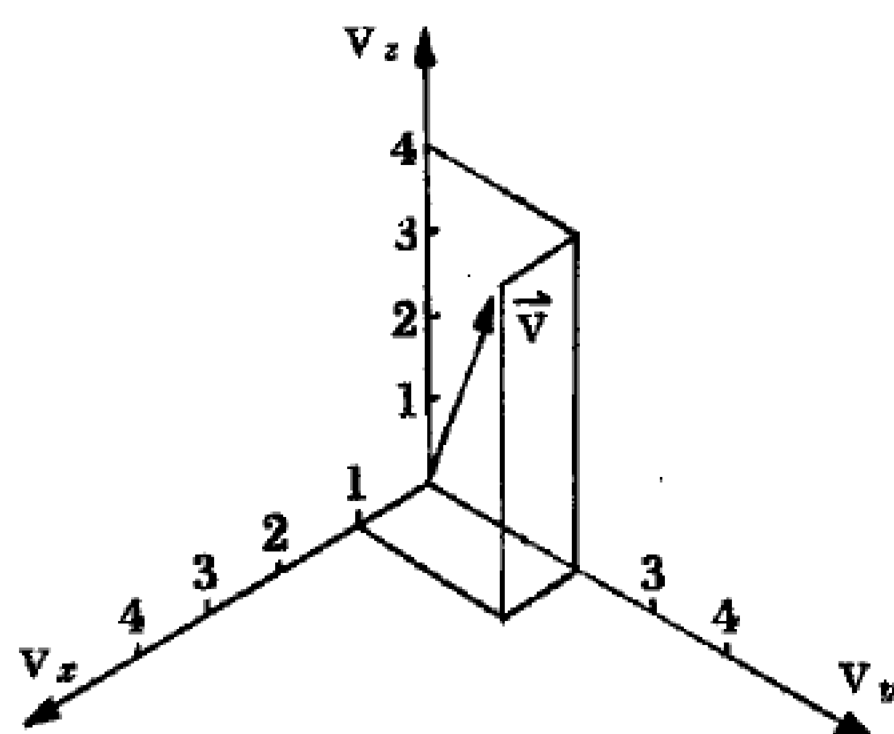


圖 12 — 239

有 $\vec{v}$ 記號的箭頭表示某一電子的速度。箭頭向 x 方向延伸的長度稱爲 x 方向的分量並以 v_x 表示。同理 v_y 及 v_z 爲 $\vec{v}$ 在 y 及 z 方向延伸的長度。圖中所示爲 v_x = 1 厘米／秒，v_y = 2 厘米／秒，v_z = 4 厘米／秒。

如圖 12 — 240 示，$v_x{}^2+v_y{}^2+v_z{}^2=v^2$ 是一個半徑爲 v ，球心爲原點的球

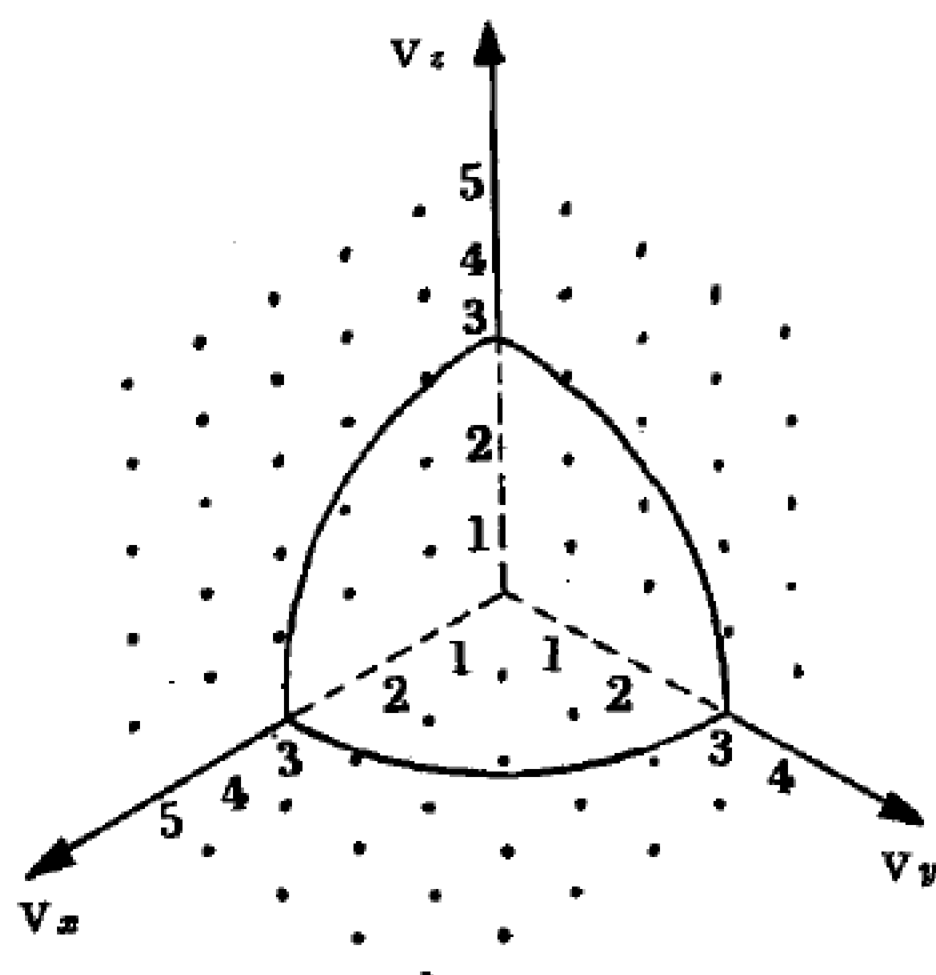


圖 12 — 240

圖示邊長 7.2 厘米的立方體中的電子速度，爲了圖示淸晰起見，僅繪出了 v_xv_y, v_yv_z 及 v_zv_x 面中的各點，實際上這些點應遍佈於速度空間各處。圖中又示 $v_x{}^2+v_y{}^2+v_z{}^2=v^2$，v = 3 厘米/秒的球體一部分，球內諸點所代表的電子動能較之球外諸點爲低

面方程式。換句話說，如果以原點爲球心，作一個半徑爲 v 的球體，則所有在球體以內的點，將代表動能少於 $E=\frac{1}{2}mv^2$ 的電子速度；而在球體以外的點，代表動能大於 $\frac{1}{2}mv^2$ 的電子。因此在電子速度各不相同，以及能量最小的情況下，大自然將盡用這一球面內的各點。最後立方體內所有電子的速度，將塡滿速度空間內一個龐大的球體。

以金屬銅爲例，這一球體的半徑爲 1.58×10^8 厘米／秒，鈉爲 1.07×10^8 厘米／秒。換句話說（以銅爲例）任何小於 1.58×10^8 厘米／秒的點，均代表金屬中某一電子的速度，而球體以外的點則大於電子所擁有的速度。物理學家稱球體以內的點爲被佔有（ *occupied* ），球體以外的點爲未被佔有（ *unoccupied* ），在被

佔有區與未被佔有區間的界限爲費米面。在上述情況下，費米面呈一球形，圖 12—241 即示金屬鈉的費米球（*Fermi sphere*）。注意最後幾個電子的速度確是非常之大，約在每秒 10^8 厘米左右，已近於光速的百分之一。而電子會有如此高速的惟一原因，是因爲它們“知道”其他電子的速度，而不欲與其雷同，這是電子要各個相異，也就是庖立不相容原理的結果。

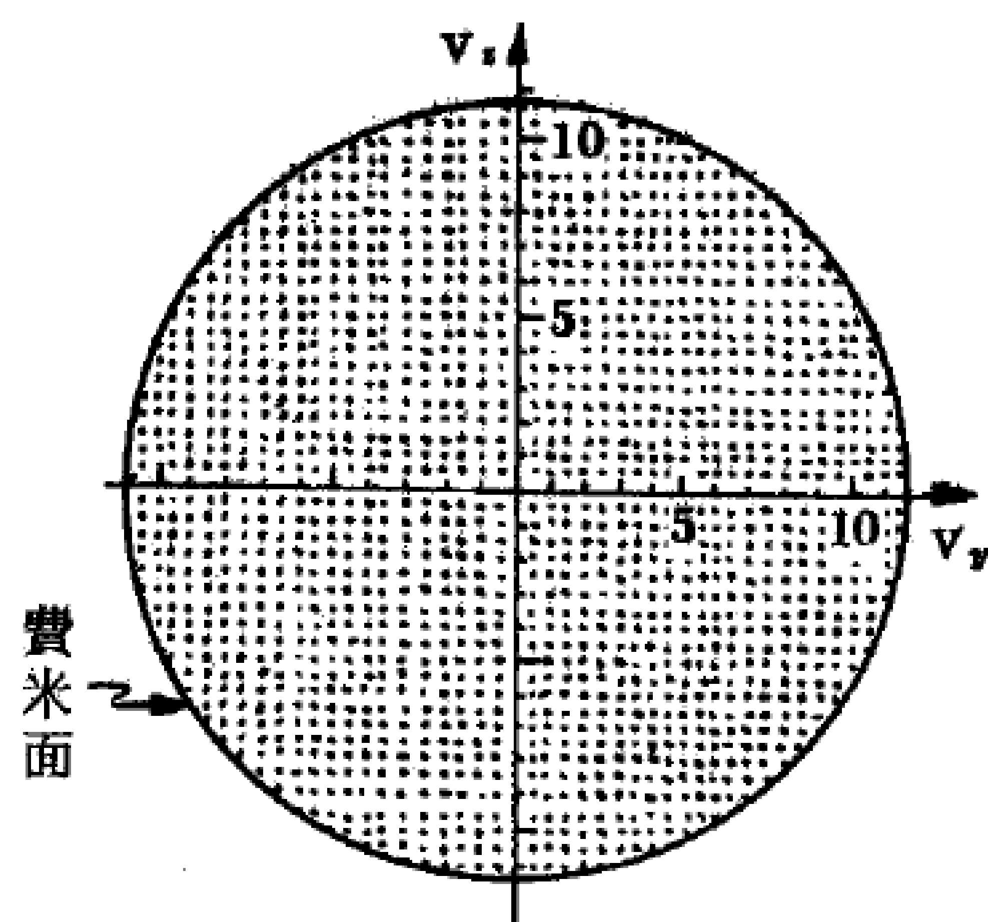


圖 12—241
鈉中的電子速度，最大速度（球的半徑）是 10.7×10^7 厘米／秒，圖中每一點的坐標代表某一電子在 y 及 z 方向的分速，爲了圖示清晰起見，每一方向內每五百萬點中僅繪出一點。

【費米能量】（**Fermi energy**）

費米、狄悅克分佈函數（*Fermi-Dirac distribution function*）中的化學位 μ（費米能階）是溫度的函數，當其在絕對零度時，此位稱爲費米能量 E_F。在 $0°K$ 時，費米、狄悅克分佈函數爲

$$f=1 \qquad 當\ \varepsilon<E_F$$
$$f=0 \qquad 當\ \varepsilon>E_F$$

即在能量小於費米能量的狀態是完全填滿，大於費米能量的狀態則完全空的。若假設爲自由電子模型，$E_F=\hbar^2k_F^2/2m$。換言之，k_F 是 $0°K$ 時電子波向量的上界，在波向量空間（*k - space*）中，狀態密度由邊界條件可知爲 $V/8\pi^3$，所以電子總數爲

$$N=2\cdot\frac{V}{8\pi^3}\cdot\frac{4}{3}\pi k_F{}^3=\frac{V}{3\pi^2}\ k_F{}^3$$
$$=\frac{V}{3\pi^2}\left(\frac{2mE_F}{\hbar^2}\right)^{3/2}$$
$$E_F=\left(\frac{3\pi^2N}{V}\right)^{2/3}=\frac{\hbar^2}{2m}\left(3\pi^2n\right)^{2/3}$$

$n = N/v$ 是電子的密度。只要知道 n，就可算得 E_F。由此可知在絕對零度時，電子並非聚集在能量爲零的狀態，而是分佈在小於費米能量的所有能階上。

【費米能階】(Fermi level)

費米、狄悅克分佈函數

$$f = \frac{1}{e^{(\varepsilon-\mu)/kT}+1}$$

中的 μ 即爲費米能階，通常稱爲化學位(*chemical potential*)。在 $\varepsilon = \mu$ 時 $f = 1/2$，即是在能量爲 μ 之狀態被電子佔據的機率是1/2，在常溫下($T \ll T_F$)低於費米能階的狀態幾乎均完全填滿，高於費米能階的狀態則甚少被佔據。費米能階是溫度及密度(N/v)的函數，在溫度 $T \ll \mu/k$ 時(一般在熔點以下的金屬 kT 甚小於 μ)，可以求得它與溫度的關係爲

$$\mu \cong \mu_0 \left[1 - \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{kT}{\mu_0} \right)^2 \right]$$

μ_0 是 $0°K$ 的費米能階(即費米能量)。

在半導體物理中，費米能階非常重要，對於一內稟半導體(*intrinsic semiconductor*)，可以算出

$$\mu = \frac{1}{2}E_g + \frac{3}{4}kT\log\frac{m_h}{m_e}$$

式中 m_h 和 m_e 分別爲電洞及電子的有效質量，E_g 是能量間隙的大小。若 $m_h = m_e$，則 $\mu = \frac{1}{2}E_g$，亦即費米能階位於禁制帶的中間。

【費米氣體】(Fermi gas)

由量子力學的測不準原理(*uncertainty principle*)可知，在一相同粒子的系統裏，我們不能確知某一粒子的運動而不改變這系統的狀態，亦即無法區別某時刻某粒子在另一時刻與其他粒子的差異，這些

粒子是不可分辨的。自然界不可分辨的粒子有兩種，一種是波子，另一種是費子，費子適合庖立不相容原理（*Pauli's exclusion principle*），即在一量子態，不能有一個以上的費子存在，它遵守費米、狄悅克統計分佈，其分佈函數爲

$$f = \frac{1}{e^{(\varepsilon-\mu)/kT} + 1}$$

式中的μ是化學位（費米能階），費子有電子、中子、質子、μ介子等。

現考慮一系統，內部的粒子爲自由運動、且不互相作用的費子，則這系統的費子稱爲費米氣體，它可以描述原子外圍電子的現象，及原子核內質子和中子的某些性質。在固態物理中，金屬內的傳導電子因能自由運動，故可視爲費米氣體的最好例子。

【費米氣體模型】（Fermi gas model）

費米氣體模型是用費米氣體的性質，解釋某些物理現象的理論。

【Ⅰ】在固態物理中

用以解釋金屬內電子的許多性質。金屬的特性是價電子少而空價軌道多，價電子在金屬中運動非常容易，原子對電子雖有作用力，但各原子對電子的作用力彼此抵銷，僅在金屬邊緣不能抵銷而有位壘，所以金屬內的價電子可視爲在一等位區域內運動的自由電子。因電子是費子，故這些自由電子即爲費米氣體。位能因是常數，可定爲零，故其能量即爲所具有的動能，即：

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

費米面爲球形費米球，若加上邊界條件，則其能量被量子化，在k空間的狀態密度爲$V/8\pi^3$，V是晶體體積。

因金屬的性質多半由於這些自由的價電子所決定，故此模型對於金

屬（特別是簡單金屬，如鹼金屬）的許多性質均提供最佳的解釋，除一般的導電性之外，對於古典物理所不能解釋的電子在金屬比熱內的重要性，也作了完美的闡釋。

【Ⅱ】在原子核物理中

在原子核物理中，費米氣體模型乃一種最簡單的原子核構造模型。假定原子核的核粒如同氣體分子一樣在核內自由運動，彼此互不作用，也就是說假定核粒在原子核內運動的有效平均自由路程（*effective mean free path*）至少和原子核直徑相仿，故核粒與核粒間幾乎毫無交互作用。質子和中子各依一種形式的位阱（*potential well*）來表示它們所受的力。這是一個極端的假定。此外又假定每一核粒的運動可用平面波的波動函數表示之。這兩粗略的假定使理論上的計算非常簡單，很容易求得一些數據。這一模型對某一部分的原子核性質可予以說明，例如原子核飽和現象，原子核表面能量和能階的密度等，但不能解釋不同原子核所呈現不同的性質，例如核子殼層效應（*nuclear shell effect*）等，再者也不能圓滿解釋低能中子使原子核分裂的現象。

【費米堆】（Fermi pile）

在1940年代，原子彈發展的初期，物理學家們最切要的課題是：如何有效控制連鎖反應的速率。歐洲的物理學家們集中於用重水作緩速劑對快速的中子予以減速，在美國則採用費米的石墨減速法，那是像蛋糕中的葡萄乾一樣，把鈾塊嵌入大量的石墨塊中堆砌而成。

1942年秋，足夠的純鈾或氧化鈾以及純粹的石墨已經在握，第一座原子反應器於1942年十一月七日，在芝加哥大學中由費米（*Fermi*）監督下建造於足球場中。因為當時所掌握的純鈾金屬只有14,200磅，所以必須兼用氧化鈾來代替。由於它是用石墨磚一層一層堆砌而成，所以就被稱作堆（*pile*）。為了紀念費米，便命名為費米堆。

工作開始，先設置一木架、一層石墨磚置於其上。在方堆的四角上

裝上一層層交替分隔的鈾或氧化鈾塊。在石墨層的槽中放入了一條一條的鎘（ *cadmium* ）用以吸收中子，以免在接近臨界體積時過早發生連鎖反應。

在鈾堆中插入了偵測中子的儀器，在堆砌工作進行中時時連續移動鎘條，可以在儀器中看出產生中子的速度。一共有十個空槽，其中七個置有鎘條；其餘三個槽中放了吸收中子的“硼鋼”（ *boron-steel* ）條，以控制連鎖反應。

這反應堆到達臨界體積（*critical volume*）時，反應的發生比預期更快。所謂臨界體積，是連鎖反應能自行維持的體積。十二月一日，發現中子的發生率急速增加，當夜，只要移開控制棒，連鎖反應就可發生了。

十二月二日下午三點二十五分，費米下令抽出控制棒，偵測儀器立刻指出連鎖反應已在自行持續中發生，即是原子世紀降臨的一刻。這在人類歷史上還是第一次，藏在原子深奧內部的原子能，用人工方法解放而流出，成爲一種調節好了的巨流。這第一個費米堆裏原子能的發生率大約到了200瓦特。倘若當時不是考慮可能的危險（堆中發出強烈中子輻射，可能傷害房屋周圍街道上的人們），這種原子能的發生率仍可更加增高。

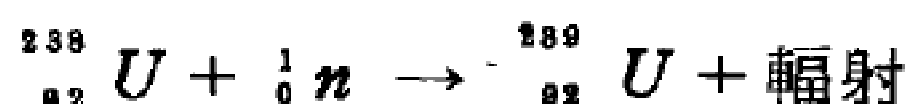
用許多天然鈾小粒散藏於巨大石墨球的全體之中，鈾粒產生中子，足以平衡中子的諸般損失而稍佔優勢，因此成立了中子連鎖反應發展的條件，而大量釋放 ^{235}U 原子核的潛能。雖說費米堆的構造表示一種偉大科學的成就，但是難於直接用作原子能的來源。

原子能來源的主要優點是在乎它們的緊密，使我們能從很少的原料裏獲得大量的能。費米堆在它的構造上，用了巨大數量的石墨和鈾，必定把它當作僅是一個緊密的能源。更進一步地說，任何工程師都知道的，任何能源所放出的熱能，只須在很高的溫度發出，定能成功地供機械

工作的生產之用。費米堆在超過幾百度的溫度時工作，表現有無限的困難。自然，費米堆可以放在地下室裏（倘若有夠大的地下室），用它來暖熱房屋，但卻非常昂貴，大約好比是把幾煤鏟的金剛鑽擲入你的火爐裏，大家都知道，金剛鑽確是碳做的，有良好的通氣設備，差不多和尋常煤塊一樣能充分地燃燒。自然沒有人曾經有過這瘋狂的思想，想把費米堆落在敵人的城市裏，那麼除卻打碎幾個居民的腦蓋以外，沒有其他的成就。

離開它純粹科學的興趣，費米堆的巨大價值乃在它裏面發生的核連鎖反應的副產物之一。我們已經知道，費米堆的工作剛剛到了可能的邊緣，在它裏面每次對裂過程產生的二、三個中子，僅僅稍許多於一個（平均數）有這機會產生下一次對裂，因以維持連鎖反應的過程。至於同在對裂過程產生的其他中子有一部分逃出堆外，大多數爲鈾粒中重質同位素和緩速劑（*moderator*）原料兩種原子核所捕獲。這些過剩中子爲碳核捕獲，形成一種穩定的碳同位素；它的原子量是 13 ，沒有特殊興趣。但是一個中子被重質鈾同位素捕獲，形成更重的同位素（^{239}U），就有些很有趣味的事了。

這種原子核眞正地不穩定，有太多的中子。所以在內部電荷重整之下，兩個中子轉變成爲質子，兩個陰電子先後被逐出。第一個電子平均在 23 分鐘後放出，第二個電子在二日八小時之後纔出來。這兩陰電子的先後被逐，使這核的原子序數從原來的 92 變到 93 ，再從 93 變到 94 。由是我們獲得兩種化學新元素，在元素週期系中位於鈾原子之外，通常不存在於自然界。這兩種超鈾元素，它們的存在，在 1935 年曾爲費米猜測，即錼（*Np*）和鈽（*Pu*）。重質鈾同位素受中子撞擊而形成鈽。這些核過程變金術的方程式寫成下列式樣：



$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U + \text{輻射}$$



$$ {}^{239}_{92}U \rightarrow {}^{239}_{93}Np + \text{陰電子} $$



$$ {}^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + \text{陰電子} $$

這新元素鈽在它的輻射性質上，和鈾或釷相類似。它是一種長期生存的元素，它的衰變期（*decay-period*）有幾萬年，發射一個α質點（*alpha-particle*）轉變成爲光鈾，光鈾就和^{235}U一樣。鈽和一切超鈾元素一樣，容易對裂，所以它的原子核能殼被緩慢中子破裂。因此，費米堆中，在進行的中子連鎖反應慢慢地毀壞輕質鈾同位素的核，把它們破裂成二，釋放出它們的閉藏能，同時又把重質鈾同位素的核構造成爲更重的鈽核。

【費米球】（Fermi sphere）

理想費米氣體的能量爲

$$ \varepsilon = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k^2}{2\,m} = \frac{\hbar^2}{2m}\left(k_x{}^2 + k_y{}^2 + k_z{}^2 \right) $$

在波動向量空間，由上式可知等能面的圖形爲一圓球，$E = E_F$（費米能量）的圓球即是費米球，其半徑爲

$$ k_F = \frac{\sqrt{2mE_F}}{\hbar} $$

在晶體內，因有週期性邊界條件，電子所處的狀態是量子化，並非任何k值均可佔據，其在k空間的狀態密度是$v/8\pi^3$。在基態時（$0°K$），費米球內的所有狀態均被填滿，在球外則完全是空的，所以

$$ N = 2 \cdot \frac{v}{8\pi^3} \cdot \frac{4\pi}{3} k_F{}^3 $$

N是價電子總數，右邊的2是因爲在k空間的每一狀態可容納兩個電子。由此式即可算出費米球的半徑爲：

$$k_F = \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{1/3}$$

在實際的晶體內，電子尙需受各正離子的作用，並不能完全視爲自由電子，故其費米面亦異於圓形球。至於金屬內的電子，因可近似爲自由電子，故其費米面相近於圓球形。唯在費米面與布里元區（*Brillouin zone*）邊緣接觸時，二者垂直相交。

【費米常數】（Fermi constant）

爲在貝他衰變原理中一常數，其值爲（1.41±0.01）× 10^{-49}爾格－立方厘米。

【費米溫度】（Fermi temperature）

費米溫度的定義爲

$$T_F = \frac{E_F}{k}$$

E_F 爲費米能量，k 是波茲曼常數（*Boltzmann constant*），理想費米氣體的費米溫度是：

$$T_F = \frac{E_F}{k} = \frac{\hbar^2}{2mk} \left(\frac{3\pi^2 N}{v} \right)^{2/3}$$

所以 $T \ll T_F$ 表示低溫和高密度。在這種狀態的費米氣體稱爲簡併的（*degenerate*），因爲在這種情形下的費米氣體大部分均在 E_F 以下，每一狀態大部均被二質點佔據，所以 T_F 也稱爲簡併溫度，其值約爲 $5 \times 10^4\ ^\circ K$。

【費瑪原理】（Fermat's principle）

第一條使得關於光的定律成爲一顯明易見的思考途徑，是由費瑪（*Fermat*）發現的（1650 年），稱爲費瑪原理或稱最短時間原理（*the principle of least time*）。他的想法是：在兩點之間的許多可能的路徑中，光選擇耗時最短的路徑。

費瑪原理對鏡面反射現象的適用情形，圖 12—242 中有 A、B 兩點及平面鏡 MM'。由 A 至 B 那一條路徑需時最短？答案是 A 至 B 的直線！但是如果我們另加上一限制，規定光必須碰到鏡子，那麼答案就不會這麼簡單了。路徑之一是盡可能快速地趕到鏡面然後再走向 B，如圖中的 ADB。當然，這時 DB 就很長。如果我們略向右移而至 E，那麼第一段距離 (AE) 就較前略增些許，可是第二段的距離卻大量減少，結果全部路徑長為之減少，因而需時較短。我們如何找出適當的 C 點而使所需時間為最短？我們可以用一幾何技巧很成功的予以解答。

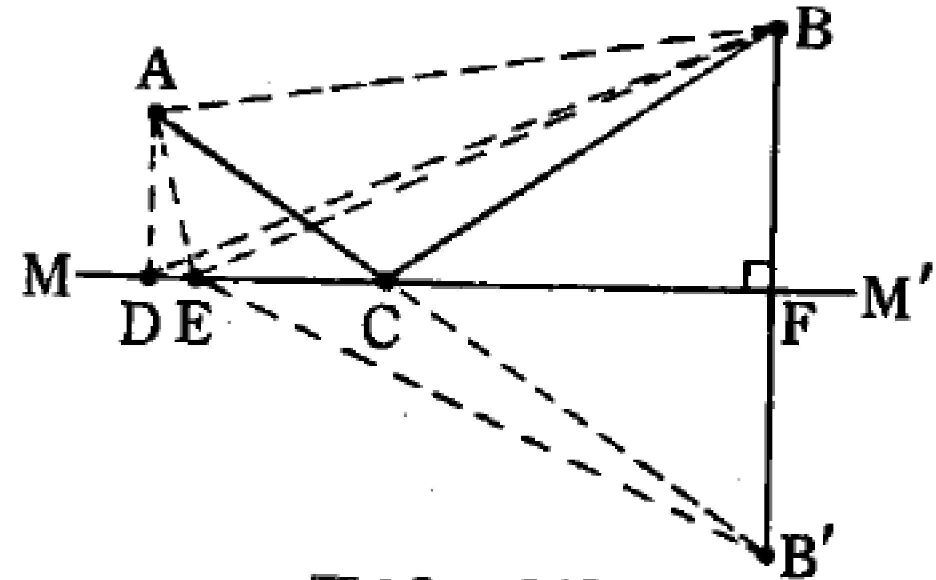


圖 12 — 242
最短時間原理的說明

我們在 MM' 的另一側畫一輔助點 B'，使 B' 與 MM' 的距離和 B 至 MM' 的距離相等。連結 EB'。因 BFM 為直角，且 $BF = FB'$，故 EB 等於 EB'。於是兩段距離的和 $AE + EB$ 便等於 $AE + EB'$。假設光以等速前進，則光走完一路徑所需的時間即正比於該路徑的長度。是以要找出需時最短的路徑，就要問：何時上兩段長度的和為最短？答案很簡單：就是在光線與鏡面接觸於 C 點而 ACB' 成一直線時！換句話說，我們該使光線向著該輔助點 B' 出發。既然 ACB' 為一直線，而角 BCF 與角 $B'CF$ 相等，那麼角 BCF 就等於角 ACM。因此，我們說入射角 (*angle of incidence*) 等於反射角 (*angle of reflection*) 就相當於說光線沿著一條能使它在最短時間內回到 B' 點的路徑，向鏡子射出。這並不是一個新的理論，因為早先的亞歷山大 (*Alexandria*) 英雄就曾說過，光沿著一條距離最短的，可能的路徑走向鏡子而到達另一點。這激起了費瑪的念頭，使他想到可能折射作用也是遵循著此同一規則。但是光在折射時的路徑顯然並非距離最短者，是以費瑪便試著改用最短時間的觀念。

如果光源於B點，它發出的光經過鏡子的反射後，我們看到由B點到A點的光在到達A點時，就和在沒有鏡子的情況下物體由 B' 點向A點發出者相同。眼睛只能感覺到射入它的光線而已，所以如果置一物體於B點再加上一鏡子，就使得進入眼睛的光線與一位於 B' 的物體所發出者完全相同。於是眼和腦組成的作用系統就認爲 B' 點有一物體存在。我們常常覺得鏡子後頭有東西存在，而造成此種錯覺的原因是由於上述的事實而已。

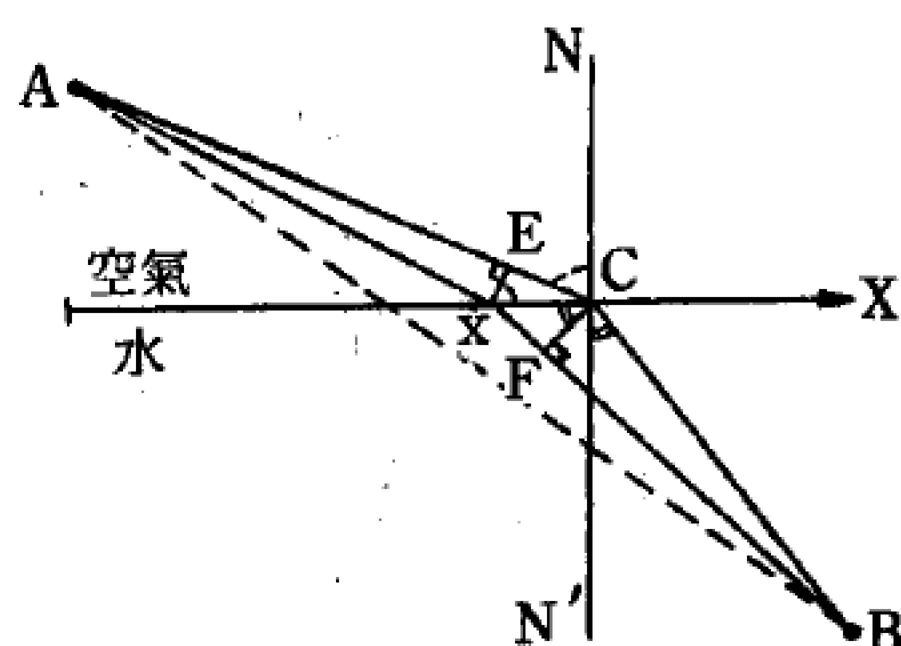


圖 12— 243
費瑪原理應用於折射現象

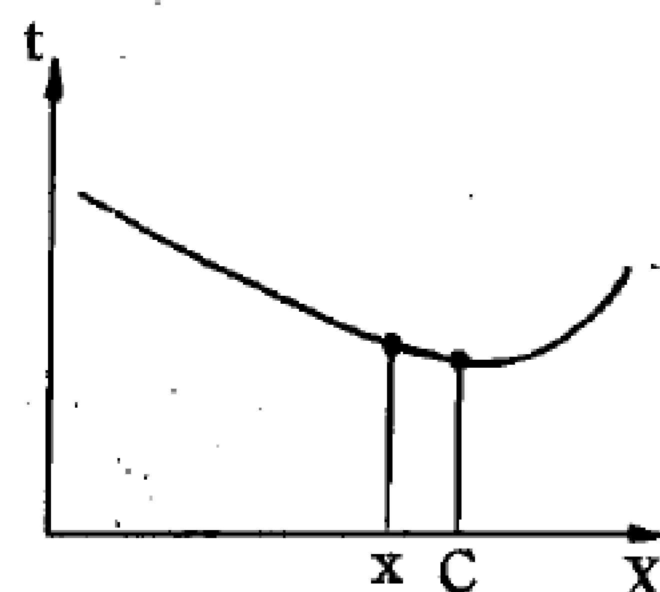


圖12— 244
在C點的時間爲最短，而其鄰近各點所有的時間値亦無顯著增減

現在我們要證明由最短時間原理可以導出司乃耳折射定律。然而，我們必須先假設出光在水中的速度。我們假設光在水中的速度較慢，而爲光在空氣中的速度的n分之一。

圖 12— 243 的問題仍是：如何在最短時間內由A到達B。這時正確的路徑並不是從A至B的直線；爲了說明此一事實，我們且想像在B點有一條船翻了，一個小孩不愼落入水中，直喊救命。直線x代表海岸。這時我們正在陸上的A點，看到這宗意外事件，想到自己旣能跑又能游水，自然義不容辭的該去救他。不過，我們同時也知道跑步的速度要比游泳快。稍爲想一想我們就知道最好在陸上多跑一點，以縮短在水中游的距離，因爲在水中我們的速度要慢多了（考慮到這個因素，我們就得做詳密的計算以求出正確的結果）。下面的計算顯示，任予一速度，我們都可以證明出路徑ACB，爲所有路徑中需時最短者。如果這條路徑爲如此，那麽任一條旁的路徑所需的時間都將比它長。所以，如果我們畫出各路徑所需時間與x點位置的對應情形，就得到圖 12— 244

中的一條曲線，而C點對應於最短的時間。如果我們使x點接近於C點，那麽兩者的第一級近似值（*first approximation*）將無差別，因為在此處曲線的斜率為零。所以問題就在於找出何種情況下，我們略為移動x點的位置而不致使時間有任何重要的改變（當然，微小的第二級的改變還是不可免的；無論使x點從C點向任一端移動，都會使時間增加）。所以我們考慮一個鄰近於C點的x點，計算新的路徑ACB與舊的路徑ACB各需時若干，然後作一比較。這是很容易做的。我們希望若距離xC很短，兩路徑的差別應趨近於零。首先，看看在陸地上的路徑，畫一垂線xE，我們看出新路徑是比舊路徑短了EC的量。另一方面，在水中畫一垂線CF，我們發現必須多走xF的距離。或者，對時間而言，我們得到原先消耗於EC的時間，可是同時也失去一段時間，消耗在多出來的xF上。當兩者都取第一段近似值時，得到的和失去的時間必須相等，因為總時間不能有所改變。假設在水中的速度為空氣中的$1/n$，則

$$EC = n \cdot xF$$

於是我們知道如果x點的位置正確的話，$xC \sin ExC = n \cdot xC \sin xCF$，或者消去公因數的斜邊長$xC$，並利用

$$ExC = ECN = \theta_i \qquad 及\ xCF = BCN' = \theta_r$$

則得

$$\sin \theta_i = n \sin \theta_r$$

故知當速度的比為n時，要在最短時間內從一點到達另一點，則光線必須以適當的角度θ_i射入另一介質中，使得θ_i角與θ_r角的正弦值的比，恰等於光在兩介質中速度的比。

【費曼圖】（Feynman diagram；Feynman graph）

即范曼圖。

詳閱“范曼圖（*Feynman diagram；Feynman graph*）”條。

【費壁】（Phoebe）

土星衞星之一。

參閱“土星(*Saturn*)”條。

【貿易風】(Trade wind)

赤道地方之空氣受熱上升，於氣圈上層造成高氣壓，分向兩極吹去。但因地球自赤道至兩極，面積漸小，此氣流至南北緯30°附近，一部分互相壓縮而降於地面，與兩極氣流相合，再歸赤道，是爲貿易風(因其互相往來故名)，又稱信風。在北半球爲東北風；在南半球爲東南風。

【越洋通信業務】(Transoceanic service)

普通是指洲際無線電的通信業務。

【越距】(Skip distance)

電波沿地面傳遞不到，而天波又越過之地區。

【超子】(Hyperous)

在1947年以後，基本粒子(*elementary particle*)的發現，有加快之勢。物理學家們觀察到很多奇異粒子(*strange particle*)的轍跡。這些奇異粒子又包含兩組，其中一組的質量約爲電子質量的一千倍左右(小於質子的質量)，統稱爲*K*介子(*kaon*)。另一組的性質與質子及中子相似，其質量皆大於質子的質量，而低於氘核的質量，大致是電子質量的2,300～2,585倍，就稱爲超子。

超子和核子頗相類，我們統稱超子和核子爲重子(*baryon*)。超子包括三類粒子，它們的自旋都是1/2。這三類超子爲：

1. Λ^0粒子——只有一種，不帶電。其質量約爲1,115.4 *MeV*。其反粒子Λ^0和Λ^0不重合。

2. Σ粒子——共有三種：Σ^+, Σ^0, Σ^-。並且還有其相當的反粒子。Σ^+帶正電，質量約爲1,189.4 *MeV*。Σ^0不帶電，其質量約爲1,192.3 *MeV*。Σ^-帶負電，其質量約爲1,197.2 *MeV*。

3. Ξ粒子——共有二種：Ξ^0與Ξ^-，還有其相當的反粒子。Ξ^0

不帶電，其質量約爲 1,314 MeV；Ξ^-帶負電，其質量約爲 1,321MeV。

K 介子和超子都是不穩定的基本粒子。它們都會衰變。下面是這些粒子衰變的一些主要的方式：

1. Λ^0粒子的半衰期約爲2.6×10^{-10}秒，其主要衰變方式爲：

$$\Lambda^0\rightarrow p+\pi^-$$

$$\Lambda^0\rightarrow n+\pi^0$$

2. Σ^+粒子的半衰期約爲0.79×10^{-10}秒，其主要衰變方式爲：

$$\Sigma^+\rightarrow p+\pi^0$$

$$\Sigma^+\rightarrow n+\pi^+$$

3. Σ^- 粒子的半衰期約爲1.58×10^{-10}秒，其主要衰變方式爲：

$$\Sigma^-\rightarrow n+\pi^-$$

4. Σ^0粒子的半衰期很短，約爲10^{-14}秒，很顯然地Σ^0的衰變主要是一個電磁交互作用的反應，因爲在衰變時，有光子被放出來：

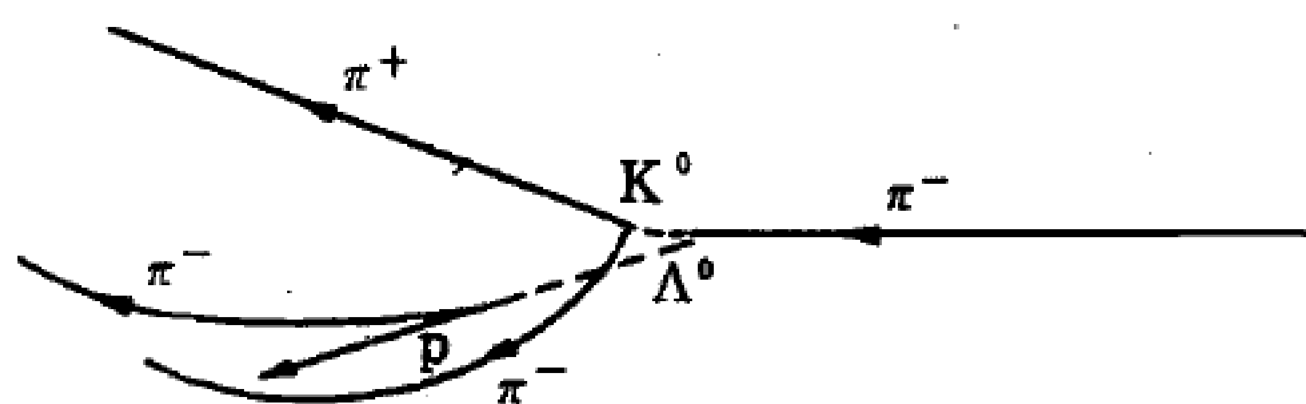


圖 12—245

$$\Sigma^0\rightarrow\Lambda^0+\gamma$$

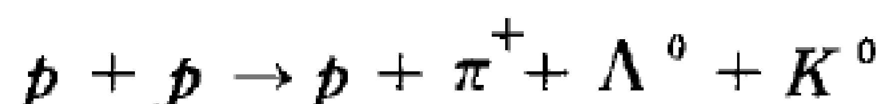
5. Ξ^0 粒子的半衰期約爲3×10^{-10}秒，其主要衰變方式爲：

$$\Xi^0\rightarrow\Lambda^0+\pi^0$$

6. Ξ^- 粒子的半衰期約爲1.75×10^{-10}秒，其主要衰變方式爲：

$$\Xi^-\rightarrow\Lambda^0+\pi^-$$

7. Ξ粒子亦被稱爲遞次粒子（*cascade particle*），因爲其主要的衰變方式是先衰變爲Λ^0粒子，然後Λ^0粒子再衰變爲質子和介子。一個入射的質子碰上液體氫氧泡室內的質子，除了產生一個質子和一個π介子之外，還產生了一個Λ^0粒子和一個K^0粒子：



$$p + p \rightarrow p + \pi^{+} + \Lambda^{0} + K^{0}$$

Λ^{0} 衰變爲 π^{-} 介子和質子，K^{0} 衰變爲一個 π^{-} 介子和一個 π^{+} 介子。

【超外差接收機】(Super-heterodyne receiver)

超外差接收機是在第一次世界大戰期間，由阿姆斯壯 (*Armst-rong*)所發明的。此接收機將所有輸入的各種頻率，都先變爲一固定而較低的中頻 (*intermediate frequency*)，所以較調諧射頻接收機爲優。在固定中頻，放大電路可得到最大的穩定度、選擇性及靈敏度。關於接收機所接收的射頻信號的頻率，變爲較低的中頻，是藉接收機本身振盪器 (*local oscillator*)所產生的頻率與載波頻率之差而得。

圖 12 — 246 爲基本超外差接收機之方塊圖。超外差接收機與調諧射頻接收機一樣，天線所接收的已調變射頻載波，送至調諧射頻放大器，經此第一級調諧射頻放大器，就可得到最初的信號選擇及放大。由於超外差電路本身具有很高的增益 (靈敏度) 及選擇性，有時第一級射頻放大器不加調諧電路，甚至完全不加第一級放大器。

經過第一級射頻放大器的射頻信號，加在混頻器 (*mixer*) 的輸入端，同時接收機本身振盪器的輸出頻率也送到混頻器。兩頻率在混頻器產生差拍作用，而得一等於兩頻相差的中頻的輸出。視所欲得中頻的高低，本身振盪器的輸出頻率可高於射頻信號頻率，或低於射頻信號頻率 (在實際上，所用的本身振盪器輸出頻率通常高於信號載波頻率) 。雖然混頻器所輸出的中頻信號，低於原來的射頻信號頻率，但其仍帶有相同的波幅調變信號 (見圖 12 — 246 之波形) 。

混頻器所輸出的中頻信號，再經數級固定調諧於中頻的放大器予以放大，然後送至檢波器解調。由於此種超外差電路具有很大的放大作用，並且二極體檢波器失眞小，聲頻傳眞度高，所以一般都用二極體檢波器作解調之用。檢波器輸出的聲頻信號再由一級或數級聲頻功率放大器予以放大，使其有足夠的能量推動揚聲器，最後揚聲器將聲頻信號電

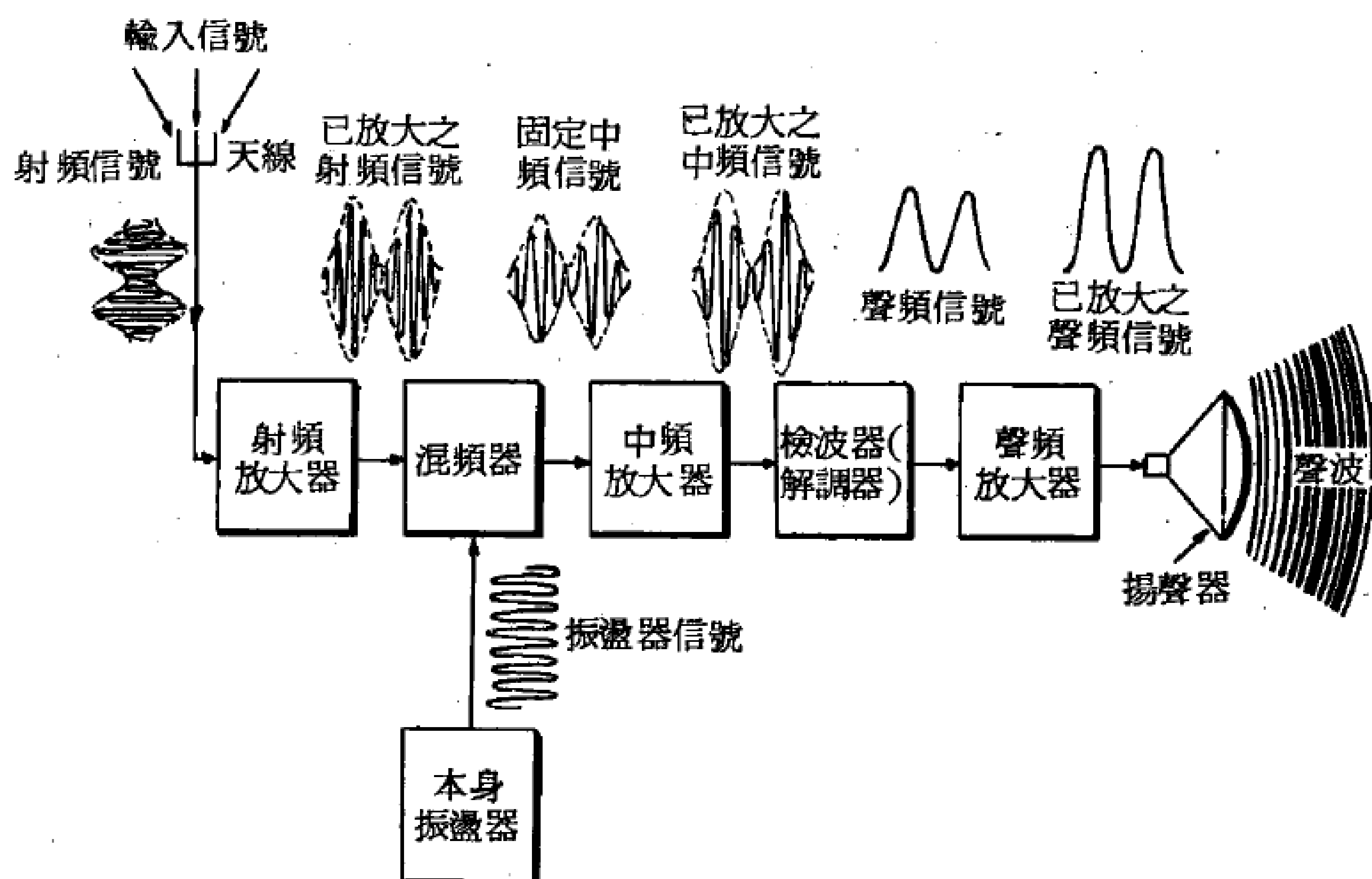


圖 12 — 246　基本超外差接收機方塊圖

波變爲原來的聲波。

當兩個頻率相差極微的音叉，所發聲音相互干擾，就得到差頻拍音。由於頻率相差甚微，所以兩音叉的發聲波時而同相位，時而反相，當兩聲波同相位時，相互加強；反相時，兩聲波有相互抵銷的趨勢，所以聲頻減弱。同相位及異相位的條件，取決於兩音叉頻率的差，所以所聽到的拍頻（*beat frequency*）等於兩聲波頻率之差。

高頻率電波變爲低頻率電波，也可用同樣的拍頻原理。同時，無論高頻率信號載波是波幅調變或頻率調變，也都可利用此拍頻原理。圖12—247就是拍頻原理的程序。

假設圖 12 — 247 (*a*)爲天線接收的射頻載波信號，其頻率爲 1,000 *KHz*。本身振盪器所產生的頻率爲 1,955 *KHz*（見圖 12 — 247(*b*)所示）。這兩個頻率在混頻器因差頻作用，而得一中頻，爲1,955 與1,500 *KHz* 之差，也就是 455 *KHz*（本身振盪器的輸出頻率爲 1,045 *KHz*

時，也可得相同的結果），其結果可見圖 12 — 247(c)。雖然信號頻率已降爲 455 *KHz*，但此中頻信號電波仍具有原來射頻載波的調變（見圖 12 — 247 所示中頻電波的波幅變化）。中頻電波經數級放大器所放大後，再經檢波器的整向及濾波（見圖 12 — 247 (d)所示），而得聲頻電波（見圖 12 — 247 (e)所示），最後由聲頻放大器放大，以推動揚聲器。關於此種超外差的處理程序，無論對調幅調頻信號，以及等幅電波等，都大致相同。

在討論非直線型失眞及波幅調變時得知，由非直線型特性可產生新的頻率。產生差頻的混頻器也必須是一個不合乎歐姆定律的非直線型電路，換言之，利用電子管特性曲線非直線的彎曲部分。爲得差頻電波，只要將射頻電波及本身振盪器所產生的頻率，同時送入非直線型的混頻器電路，在其輸出端就可得到所欲之中頻。通常，混頻電路的輸出頻率不只是所欲的差頻率，同時也有原來的射頻載波頻率，以及兩輸入頻率的和頻率。這些不需要的頻率，必須經混頻器的輸出調諧電路，予以抑制（調諧電路調諧於中頻）。

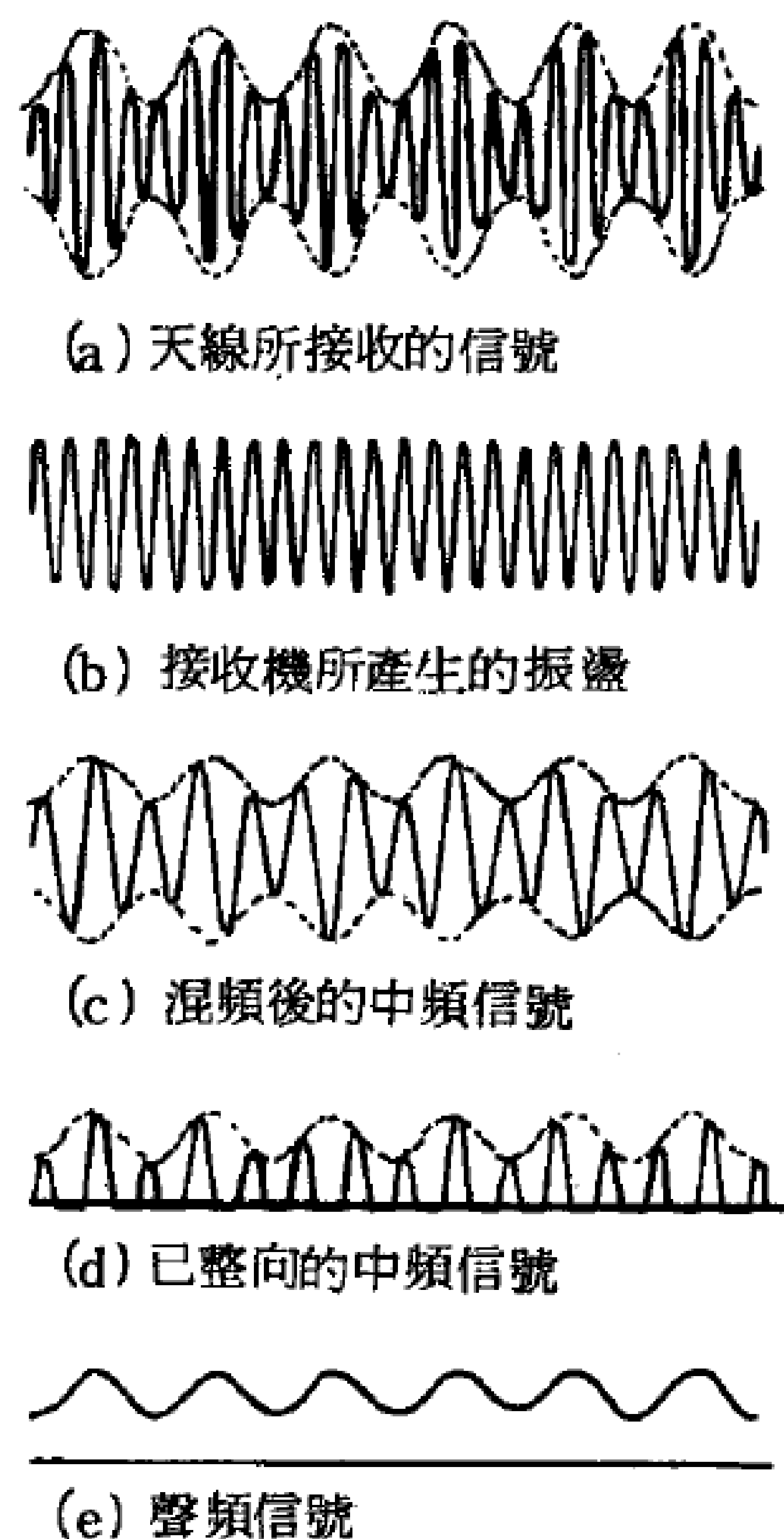


圖 12 — 247
已調射頻載波之超外差接收

圖 12 — 248 的電路，是由一個三極管的混頻器及一個三極管本身振盪器所組成。一般的三極管及五極管都可構成優良的混頻器，特別是用在高頻率方面，並且此種混頻器仍被很廣泛的應用。

混頻器電子管的作用，如同一普通的屏極檢波器一樣，其偏壓爲斷

流偏壓；換而言之，此電子管作用於其特性曲線的非直線型部分混頻器的輸入槽路諧振於欲接收的射頻電波頻率，而本身振盪器的控制柵槽路諧振於射頻電波頻率與所欲得中間頻率之和的頻率上。通常一個波幅調變的超外差接收機的中頻爲 455 *KHz*。同時混頻器的屏極槽路，諧振於中頻。本身振盪器與混頻器的諧振電容器，連接在同一軸上，所以可以同時調整兩者的諧振頻率。

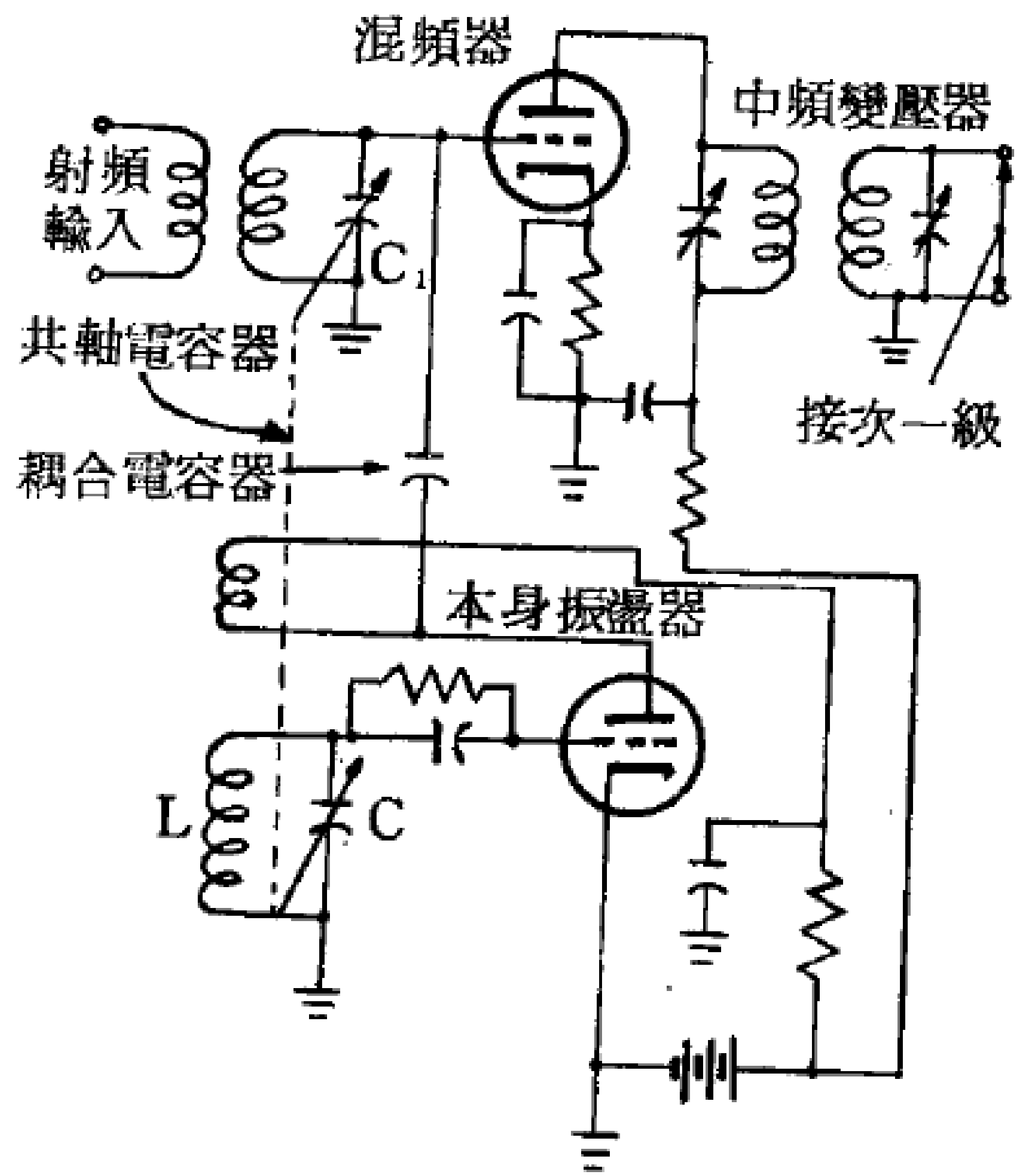
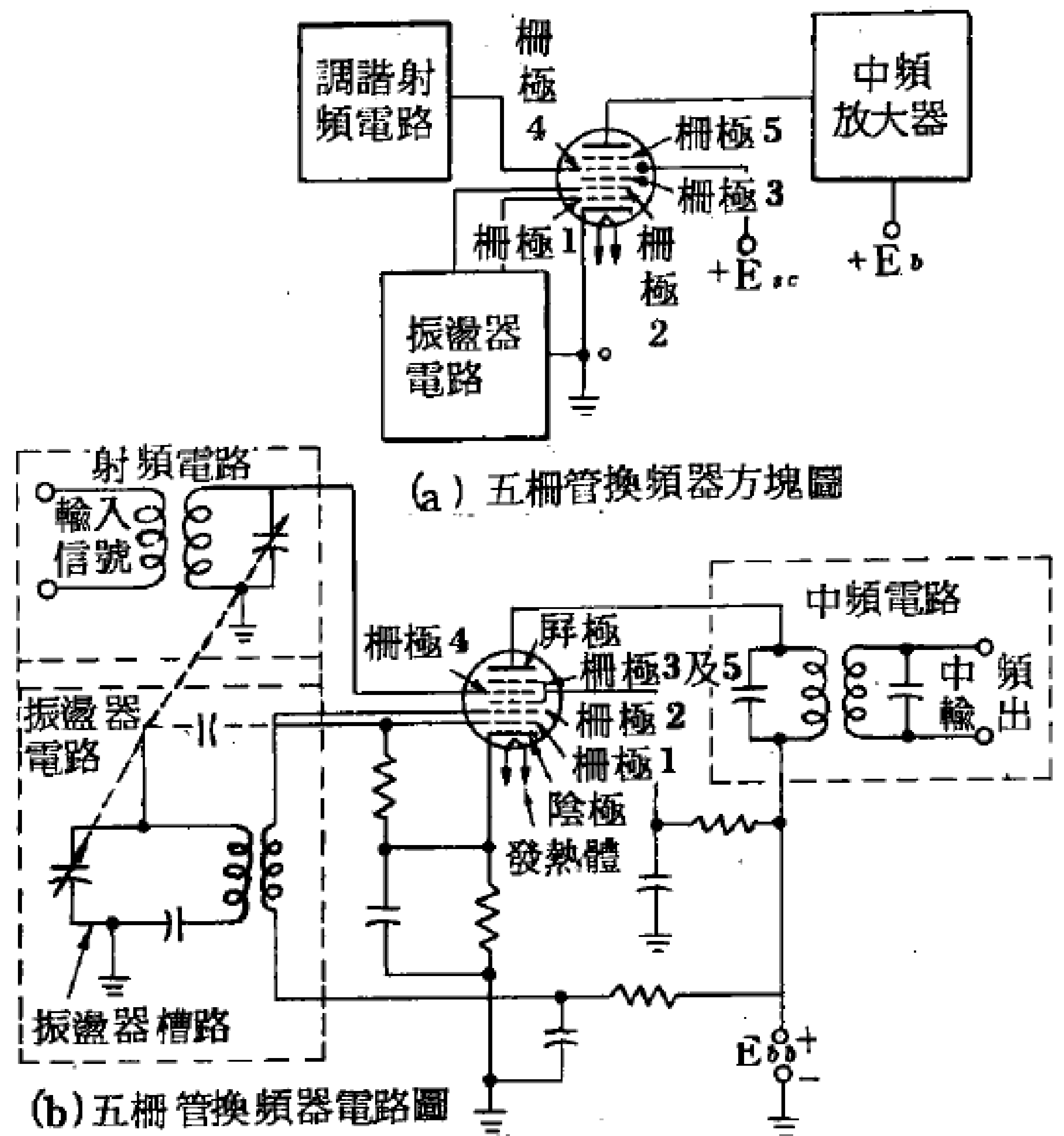


圖 12 — 248
含有三極管振盪器及混頻器的換頻器

圖 12 — 248 的振盪器是一個線圈反饋振盪器。本身振盪器的屏極電路振盪，藉耦合電容器與混頻器控制柵相耦合，此種方式稱爲柵極注入(*grid injection*)。當然可以用其他適當耦合方式，將本身振盪器的輸出電壓送到混頻器。振盪器的輸出電壓，也可藉電感作用與混頻器的陰極耦合，此種相當普通的方式，稱爲陰極注入(*cathode injection*)，或者將振盪器控制柵槽路與混頻器的輸入槽路，利用電感線圈相耦合。

單獨的混頻器與本身振盪器，具有非常優良的信號與雜波比，並且適用在高頻率的電信傳播。三極管或五極管頻率變換器的混頻器與振盪器相互產生不必要的耦合，因此可能使振盪器輸出減弱。一種專門作頻率變換器用的特殊電子管，通稱五柵管(*pentagrid tube*)，此種電子管可使混頻器與本身振盪器間得到足夠的絕緣。五柵管混頻器的絕緣，是藉兩個獨立的控制柵達成，一個控制柵專門用於射頻信號，另一個控制柵則用於本身振盪信號。另外一個單獨的三極或五極管，專門作本身振盪電路用。一種更好的解決辦法就是利用五柵管頻率變換器，此種變換

器的五柵管內包含有本身振盪及混波兩種作用，並且是藉同一電子束將兩電路耦合在一起。關於五柵管頻率變換器的方塊圖，及其實際電路都已繪於圖12—249中。



(a) 五柵管換頻器方塊圖

(b) 五柵管換頻器電路圖

圖 12 — 249

由圖12—249變頻器所用五柵管的陰極，柵極1及柵極2，連接成一普通的線圈反饋振盪器。柵極1的作用如同一個振盪器的控制柵，柵極2則如同振盪器的屏極。本身振盪器的頻率，是由振盪槽路內的可變電容器控制。可變電容器與射頻輸入調諧槽路的可變電容器共用一個軸，因此在欲接收的任何頻率下，均可得到一個固定的中頻。

經輸入調諧槽路所選擇的射頻信號，加在五柵管的柵極4上，此射頻信號電壓，就可調變電子管的電子束。作用原理簡述如下，大多數陰極放射的電子，經過振盪器的屏極（柵極2），向柵極3運動，並使電子束加速。再者，大多數電子穿過柵極3，向射頻信號控制柵（柵極4）運動，柵極4具有一藉陰極自偏電阻所得的偏壓，因此電子受此柵極4排斥，而在柵極3與柵極4之間形成空間電荷，空間電荷的作用就如同混頻器的陰極，通常稱爲虛陰極（*virtual cathode*）。由虛陰極所放出的電子數，與振盪器所產生的脈衝有關；也就是說混頻器的電子束隨振盪器的頻率而變。由於流經柵極4到電子管屏極的電子流多寡與射

頻信號電壓有關，所以實際抵達屏極的電子流同時受振盪器及射頻信號電壓的調變。因爲電子管的非直線型特性，所以混頻器的屏極電流包含有射頻信號與振盪器頻率之和與差兩種輸出。屏極電路的調諧電路諧振於差頻（中頻），並壓制其他頻率。

雖然五柵管頻率變換器，作用於中頻範圍內是非常良好，並且也是所有廣播接收機的標準電路，一旦作用頻率增大到高頻率範圍，此種電路的效果減低。這是由於頻率增高，振盪器的作用降低，同時振盪器與混頻器的相互作用增大，所以在高頻率時，混頻器與振盪器兩電路必須分開。

自動音量控制（*automatic volume control*）在現代化的接收機檢波器的輸出端都裝有自動音量控制電路，以控制所接收信號的音量。裝設自動音量控制電路後，無論信號強度的增大或減弱，接收機都能保持一固定的輸出。因爲信號的變化，可使頻率放大器、中頻放大器及檢波器超載，導致信號的失眞，及音量的變化。自動音量控制電路，可克服這些缺點，並能使揚聲器的輸出音量約保持恆定。關於自動音量的控制，可用很簡單方法達成。利用遙截止五極管，作成超外差接收機的射頻放大器及中頻放大器，只要改變遙截止五極管的控制柵偏壓，就可達到自動音量控制的目的。當信號強度增大，使射頻及中頻放大器的偏壓更增加，以降低放大器的放大作用，如果信號強度減弱，偏壓減低，如此不論信號是增強或減弱，都可獲得一個大約恆定的輸出音量。由以上所談的知道，只需要使偏壓隨信號的強度而變化，就能達到自動音

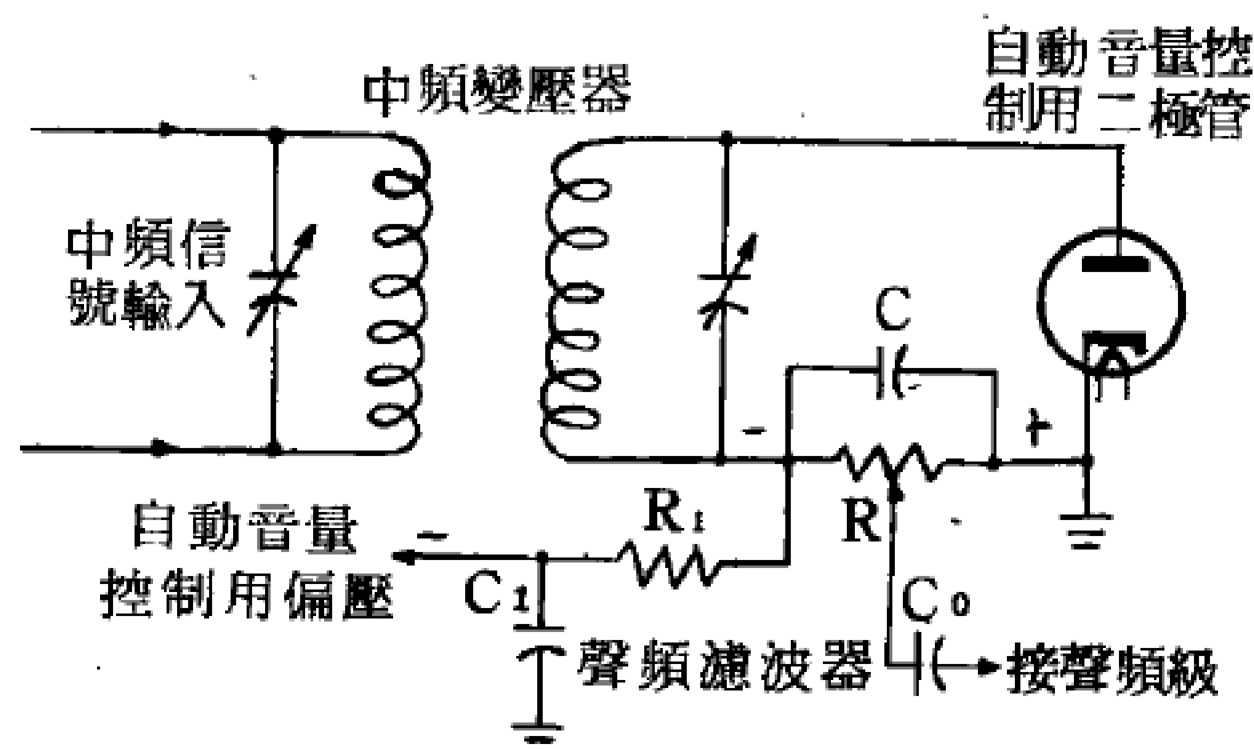


圖 12 — 250
自動音量控制電路

量控制。二極體檢波器負載電阻，就是一個非常良好的自動音量控制偏壓電源，因為經二極體檢波器，檢波後的電壓隨信號的強弱而變。圖12—250是具有自動音量控制的二極體檢波器電路，同時人工音量控制(*manual volume control*)電路也已示於圖中。

在一般的二極體檢波器中，信號經檢波後的輸出電流，流經負載電阻 R，產生電壓降，關於此電壓的極性請看圖12—250。負載電阻是一個電位器所形成，因此部分電壓可從此電阻 R 引出，藉電容器 C_0 送到第一級聲頻放大器。調節電位器 R，就可達到人為音量控制的目的。

從電阻 R 負端的輸出，經電阻 R_1 與電容器 C_1 所構成的濾波器，送到射頻及中頻放大器，此電阻 R 負端的輸出，就能供給隨信號強度變化的偏壓。電阻 R_1 電容器 C_1 濾波器將信號中的聲頻部分濾掉，所以自動音量控制電壓的變化不受射頻電波中的聲頻調變信號的影響，否則將產生失真。所以自動音量控制電壓僅隨受衰減或其他因素影響，而強度緩慢變化的信號而變。

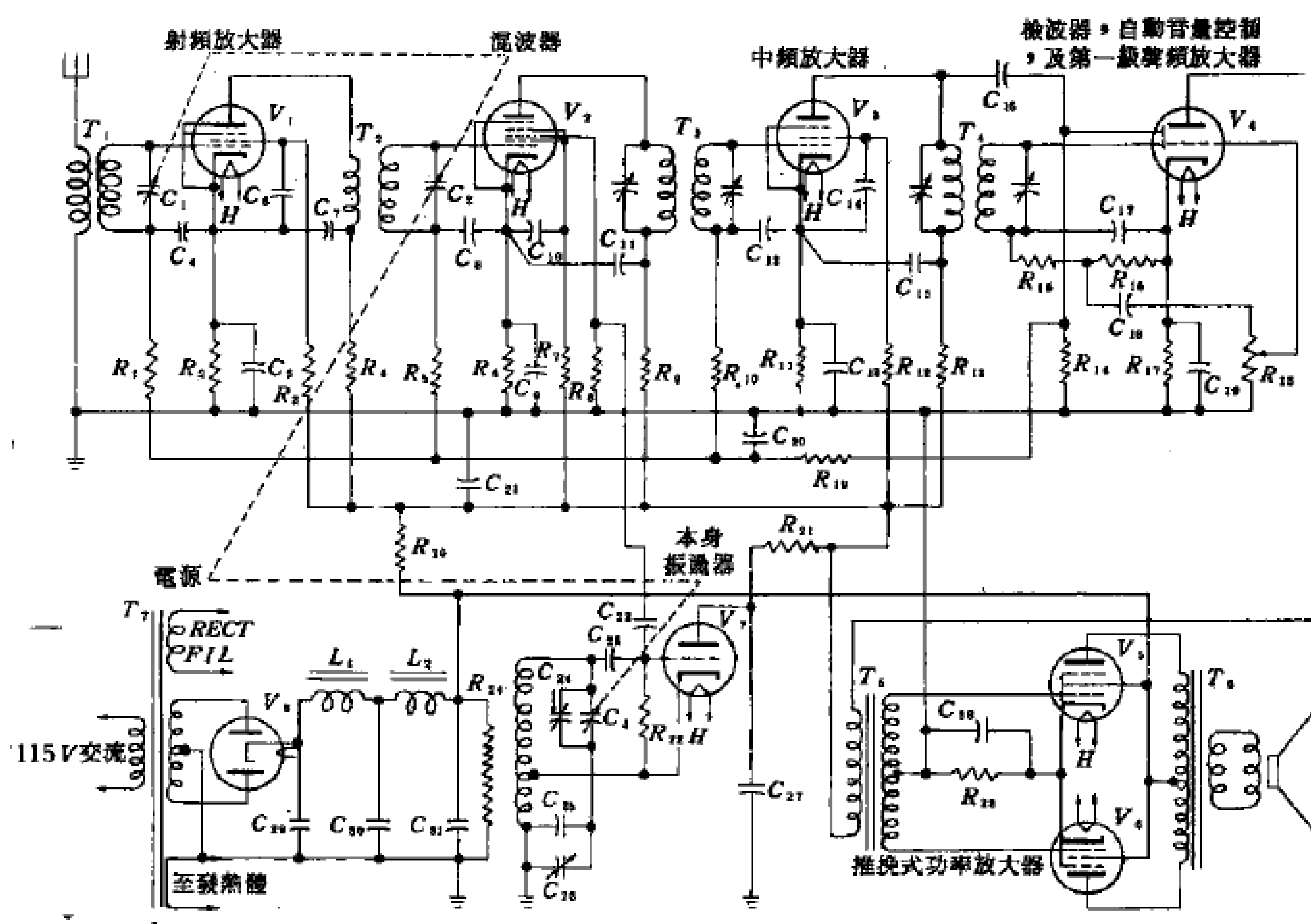


圖 12—251　高品質超外差電路

自動音量控制所用的二極管，通常與檢波器所用的二極管放在同一殼內，這就是所謂的雙二極

管（*duo diode*），並且有時第一級聲頻放大器也與雙二極管放在同一殼內，形成所謂的雙二極三極管（*duo diode-triode tube*）。有時爲使微弱輸入信號能得最大放大，往往再加液體所構成的特殊延緩自動音量控制電路（*delayed automatic volume control circuit*），所以當信號強度達某一預定值時，自動音量控制偏壓方能發生作用。

超外差接收機幾乎可在每一個家庭看到，圖12—251 是高音質的超外差接收機，第一級爲一射頻放大器，而聲頻放大器則是推挽式聲頻功率放大器，通常在廉價的超外差接收機都沒有此兩放大器的裝設。

讀者看到圖12—251 後，一定覺得非常複雜，但稍微詳細一看，對於各部分的電路一定非常熟悉。此接收包含有一個調諧射頻放大級、一個五柵管混頻器，及一個哈特萊式本身振盪器，另有一個中頻放大器，及一個檢波器。檢波器自動音量控制以及第一級聲頻放大器，是用一個雙二極三極管所構成（見圖的電子管V_4），最後再加推挽式功率放大器及揚聲器。此接收機是由交流 115 伏特，經全波整流器及一個兩節的電容器濾波器後，而得的電壓，作爲直流電源。電源部分向各電子管的屏極及簾柵提供直流高電壓，並且又向各管絲極提供交流電壓。

射頻放大器、混頻器及本身振盪器可變電容器（C_1，C_2，C_3）的軸全都連在一起，因此可使調諧控制得以簡化。與本身振盪器可變電容器C_3並聯的可變電容器C_{24}稱爲修整電容器（*trimmer condenser*）。因此可調節此電容器，使振盪器得到正確的振盪頻率，因而得到正確的中頻。修整電容器主要是作高頻率調節之用，而另一串聯墊整電容器（*padding condenser*）被用來調節低頻率。墊整電容器C_{26}與另一個固定電容器C_{25}並聯。振盪器之輸出信號藉電容器C_{22}的耦合，將振盪頻率信號注入五柵混波管V_2的控制柵。

雙二極三極電子管V_4含有二極管檢波、自動音量控制，及第一級聲頻放大三種作用。由二極管檢波器的輸出信號電壓，呈現於電阻R_{16}

及電容器C_{18} 兩端經人工音量控制的電阻R_{18} 而加在電子管V_4 內三極管的控制柵，信號經此第一級聲頻放大器後，送到推挽放大器，推動揚聲器。電子管V_4 內的另一二極管則藉電阻R_{14}，以提供自動音量控制所需的偏壓，電阻R_{14} 的端電壓，經濾波器（R_{19} — C_{20}）後，同時加在射頻放大器V_1、混頻器V_2及中頻放大器V_3 的控制柵。

【超外差電晶體收音機】（ Super - heterodyne transistor receiver ）

圖 12 — 252 係六石超外差式電晶體收音機的電路圖。藉T_{r1} 以變換頻率（變頻），並用T_{r2}、T_{r3} 作二級中頻放大，另用1N34A 作二極體檢波，通過5 μF的耦合電容器，再由T_{r4} 作聲頻放大，最後用T_{r5} 與T_{r6} 分作每半週的放大，以推動揚聲器發音。此最終級係將特性相同的二個電晶體接成對稱，使它們能正負相輔以得到強大的電力。如此連接使揚聲器發聲的電路，稱爲推挽式放大電路（ *push-pull amplifying circuit* ）。

推挽式放大電路的優點是：可獲得強大的輸出，而失眞較少。使用電子管的強力放大電路，當然亦常有採取此種推挽式者。推挽式放大電路比僅用一只電晶體或電子管的單一放大電路所能獲致的輸出爲大。

圖 12 — 252
六石超外差式電晶體收音機電路圖

圖 12 — 253 係將圖 12 — 252 電路實際裝成後的實體配線圖。所

有的零件均裝在一塊塑膠底板（基板）上加以配線。底板是絕緣體，其背面如圖 12 — 254 所示，對於零件的佈置須事先考慮週詳，將導體黏貼在膠木絕緣板上；或印在板上。導體使零件與零件的連接係採取焊錫法。導體印在底板上的配線法稱為印刷配線

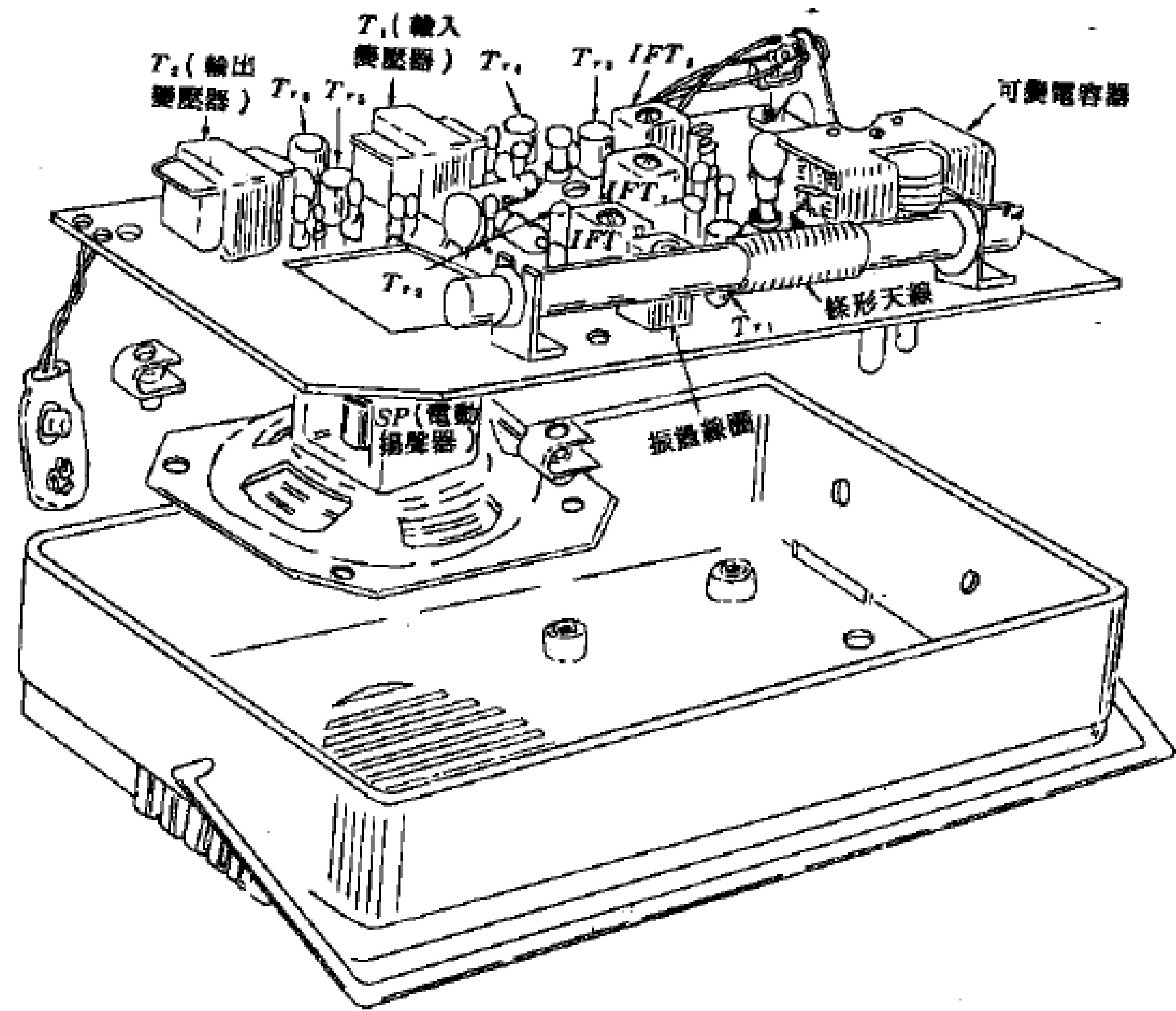


圖 12 — 253
前列圖 12 — 252 的實體配線圖

（*printed wiring*），若與用 *PVC* 線一根一根連接的配線方式相比，不但效率高，而且裝配亦容易得多。

此外，圖 12 — 252 中的熱阻器（*thermistor*）係一種其電阻值隨溫度高低而起變化的半導體，是錳、鎳、鈷、銅、鐵、鎂或鈦（*titanium*；*Ti*）等的氧化物加以混合煉製而成。

如所周知，電子管係以熱極將陰極加熱到高溫，故幾乎不受周圍溫度的影響。但電晶體卻在常溫下使用，故對於周圍溫度非常敏感。溫度稍高，其特性即有劣化之虞。因此，不但在焊錫時要特別小心，即在使用方法上亦必須特別謹慎。否則所流過的電流會使本身加熱而損壞。電力放大用的強力電晶體的發熱問題尤為嚴重，甚至加上散熱板以後，輸出即有顯然增大的趨勢。

即使如圖 12 — 252 所示的一般電路，當溫度上升 10 ～ 20°C 左

右時，末級電晶體的射極電流便即增加，以致集極電流亦增加，於是發生發熱現象。如欲防止此種現象，則使基極的電壓隨著溫度的上升而下降，即可達到目的。今若將熱阻體依圖示的連接法予以連接，使加於熱阻體的電壓成爲基極偏壓，則可很順利地發生溫度補償的作用，能使放大的動作極爲穩定。

圖 12—252 所示配線圖中，中頻變壓器 IFT_2、IFT_3 與電晶體 T_{r2}、T_{r3} 的基極之間，挿接有 7 PF、5 PF 的小容量電容器，此係爲抵銷因電晶體的集極與基極間的靜電容量所生之影響（亦即防止自生振盪）而用的中和電容器。

按電晶體收音機中所用的零件，自亦可採用與電子管式收音機相同

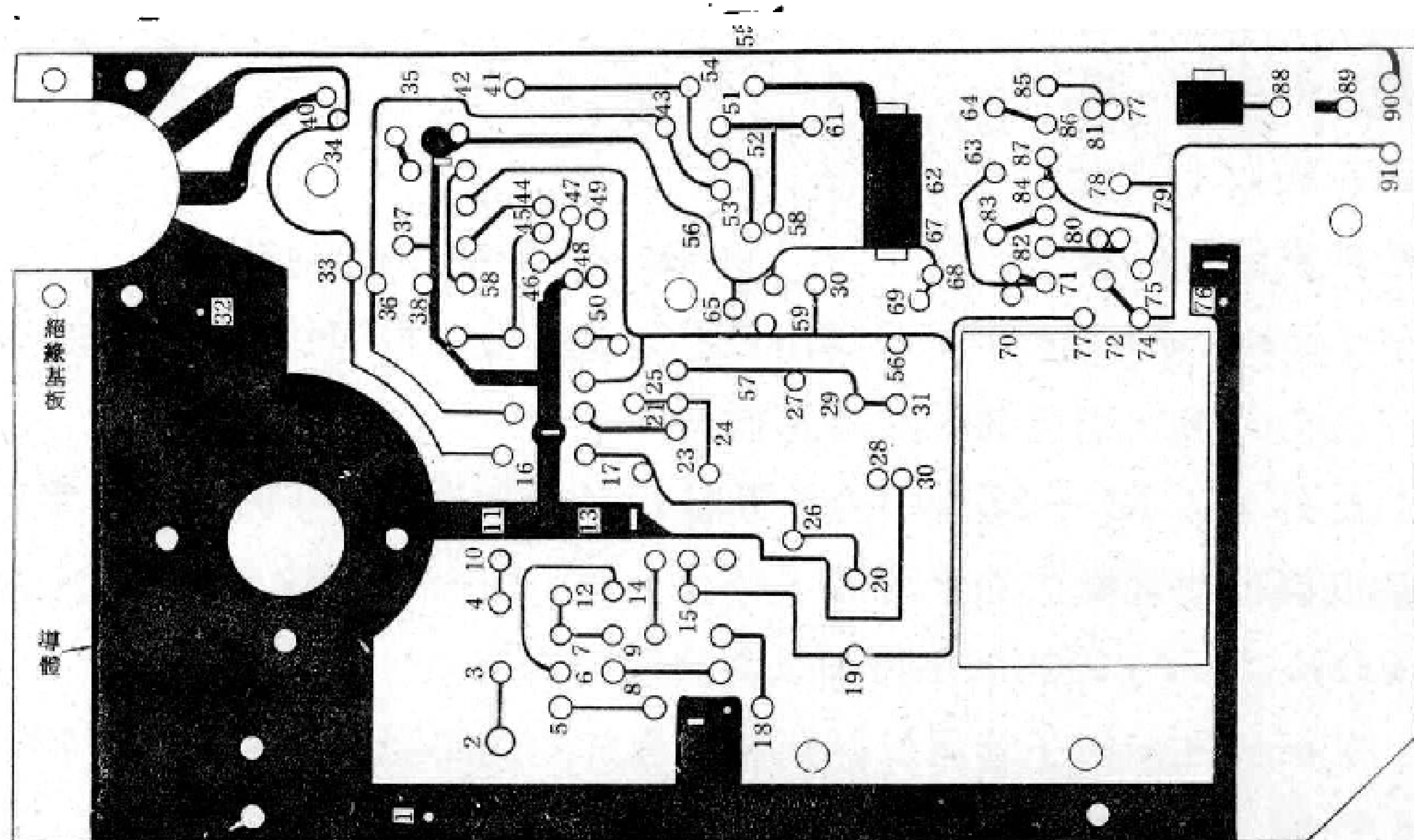


圖 12—254　電晶體收音機（圖 12—252）的印刷配線基板例

的製品。但如此即失去電晶體收音機要求小型化的意義，故一般都採用特製的小型零件。正如圖 12—253 所示，由於電阻器等的消費電力甚小，使電解電容器的耐壓亦得以很低，故此等零件可作成小型輕巧的型式而其容量卻並不微小。

手提式電晶體收音機所使用的揚聲器，大都爲直徑4厘米（ *cm* ）或5厘米左右的電動揚聲器（ *dynamic loudspeaker* ），外形雖小，但均能產生相當大的聲音。

【超再生接收機】（ Super-regenerative receiver ）

利用一分離振盪器，供給一瞬滅頻率，保持放大電路在最有效情況下工作的接收機。工作時其廻路的衰減週期變化著的再生器，在一個週期的一部分時間內，這個衰減變爲負值。爲了使電子管柵極廻路的衰減作週期性的變化，便在該柵極上加入超音頻輔助振盪，這種振盪即由這隻電子管所產生，或由別的專門振盪器產生。

這個超音頻電壓改變著特性曲線上工作點的位置，同時也改變著工作點的跨導（ *transconductance* ）。這時，反饋效應（ *feedback effect* ）即由於反饋而從屏極電路進入柵極廻路的能量，也就發生變化。當跨導很大，饋入柵極廻路的能量超過了廻路中所損失的能量時，廻路將具有負的衰減，而廻路中的振盪就開始增長。在輔助頻率週期的另一部分時間內，當跨導減小時，衰減變成正值，已經增長起來的振盪便將開始衰減下去。這樣一來，在超再生器的廻路中，由於衰減在週期性的變化，便將出現一系列依同樣週期開始增長而後衰減的振盪。此時振盪在輔助頻率振盪週期的某一部分時間內能夠增長到的最大值主要是決定於開始增長時的初幅值。在沒有外部信號時，廻路中所存在的只是由電流起伏變化所產生的微弱振盪。在衰減因數爲負值的一段時間內，這些弱小的振盪只能夠增長到一個不大的量。如果有幅度大於電流起伏變化幅度的信號作用到超再生器時，則在信號作用時間內，幅度就從較大的幅度開始增長，因而當信號存在時，超再生器內的振盪所能增長到的幅度就比沒有信號時大。所以信號的幅度越大，則超再生器內振盪所能增長到的幅度也越大，而對這些振盪進行檢波後所獲得的電流強度也越大。

與普通再生器相比，超再生器具有下述優點。欲使再生器具有大的

靈敏度（ *sensitivity* ），則應使其工作在振盪點附近。然而這種工作狀態是不穩定的，因爲當再生器內的跨導或電路的其他參量發生不大的變化時，就會產生振盪。而在超再生器內，再生狀態是時時刻刻在變化著，再生狀態的一些不大的偶然變化對超再生器的工作並不發生影響。超再生器內所能獲得的靈敏度，則大致相當於普通再生器正好工作在振盪點時才能獲得的靈敏度。目前超再生器主要是用來接收超短波。

超再生器的缺點是有輻射存在，並且選擇性（*selectivity*）較差。

【超再生調頻檢波器】（ Fremodyne ）

*F.M.*機採用超再生（ *super-regeneration* ）原理而設計，與一般超外差機之檢波電路類似，但一切均由一管完成之。

【超交換】（ Super-exchange ）

交換交互作用是因爲相同粒子可以互換組態，因而計算能量時得出一項與兩種組態乘積有關的值。這項能量常與－（ $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ ） J 值成正比，J 即是所謂的組態乘積積分，稱做交換積分（ *exchange integral* ），σ 是粒子的自旋，因此究竟自旋是同向或是反向，就由 J 是正值（如鐵磁物）或負值（如反鐵磁物質）而定。但在解釋強反鐵磁物質如 MnO 時，兩個 Mn^{++} 離子相距很遠，中間夾一 O^{--} 離子，而使 J 值很小，不足以造成直接的交換交互作用。但是因爲 O^{--} 的兩個電子分別和兩個 Mn^{++} 離子耦合，由庖立不相容原理（*Pauli's exclusion principle*）可知，這兩個電子自旋相反，因此 Mn^{++} 間也有耦合，而且自旋方向相反，這種藉中間媒介而達到遠距離的交換交互作用，稱爲超交換。

【超共軛】（ Hyperconjugation ）

描述一分子特性的方法。原子與原子間一般均認爲以鍵相連接。但在共振結構中，原子成群並非藉任何一種鍵以與原子相連接的，又稱爲無鍵共振（ *nobond resonance* ）。

【超冷凍】（ Super-refrigeration ）

多年來，科學家們已經知道在華氏零下200度以下的冷凍狀況中，存在著一個奇怪的世界。他們知道那時某些物質會發生怪現象：有的不受引力作用，有的發生新的力量，還有的不用電池或其他電源而能不斷導電。直到最近爲止，這種冷凍的作用除了令人感到新奇外並沒有明顯的實用意義。現在，由於最近的技術改進以及在商業上有可能將溫度降低到近於絕對零度（華氏零下459.7度，攝氏零下273.2度），使被名爲“凍劑學”的、研究超級寒冷的科學開始走出實驗室，成爲工業、科學、甚至醫藥部門的重要工具。

最新的、革命性的發展是用液體氮來凍藏血液，可以儲存很長的時期。普通凍藏中的血液儲存到三星期後就會敗壞。新鮮的血液要是調配得宜而迅速冷凍到華氏零下320度，可以在好幾個月後解凍而新鮮如初。這是美國海軍和幾位科學家簽訂合同進行的研究工作成績之一。此外還證明深凍能減少病人害癌症的危險。目前由於某些傳熱的問題，使我們不能廣泛採用這種方法，但是研究人員們相信只要傳熱的問題解決後，我們就可以大量貯藏鮮血。

有趣的是凍劑既能保藏健康的細胞，又能摧毀病壞的細胞，這爲外科學中開拓了新的境界。紐約聖巴納巴斯醫院神經外科主任柯柏博士是採用凍劑外科手術的創始人物之一。他採用一種凍劑探測器（又叫做“凍刀”）來阻遏一種被名爲“柏金生氏病”的癱瘓。他把一支裝有液體氮的細金屬探測器伸入腦部中。冷凍的探測器的銀尖頭把病變組織殺死；探測器通連一套控制器，可以調整所需的溫度。柯柏博士報告說他用這種不見血的凍刀進行治療二千宗柏金生氏病及其相關的病狀，把顫抖情形減少了百分之九十五。他說使腦部受損害的危險比率，只有百分之一。他現在正採用這種方法來治腦部及直腸部分的瘤腫。

巴克萊加利福尼亞大學的低溫實驗所是美國凍劑研究中心之一，其中有許多古怪的化學研究設備和巨型的塗銀金屬瓶，瓶中裝著液化氣體

，有極低溫度的液體氦。在實驗室的中央是一支銅管，許多儀器設備從這銅管通過一個小庫房進入樓下房間中去。這個庫房用水泥造成，水泥表面上還有特別的塗料。庫房有封閉得很嚴密的門，外面有警告性的標誌寫著：“危險！窒息性氣體！不能維持生命！”

在這扇門後面，裝有三套巨型電磁設備，用窒息的二氧化碳氣體保護著，每一套都能在管子內產生比地球磁極強二十萬倍的磁場。磁場開動時會使某些物質溫熱；關閉時會使它冷卻。因此，已經在氦氣中冷卻了的物質進入管中的磁場內，在適當的時候把磁場關閉掉，就會使物質進入最低的冷度狀況中。這種磁力冷卻（*magnetic cooling*）是諾貝爾獎金獲獎人齊奧奎發明的，他的助手李昂博士對這種方法有如下的解說：

磁力設備是產生冷凍溫度的方法之一。它是最老的方法，也是凍劑工業中應用的基本方法。它在某些條件之下緩慢地使一種氣體擴展。當一種氣體被壓縮後再擴展時，它失去了熱而冷卻。我們用這種方法可以使液體氦的溫度降到距絕對零度十分之七度。磁力設備能使溫度更加下降。要是這種試驗照理想得到結果，我們可以使溫度降低到距絕對零度僅百萬分之一度的範圍之中，到現在為止，這是人類所能達到的最低溫度。

在這種冷度中，物質的原子運動降低到最遲緩，一切動作都很有秩序地先後配合。要降低到這樣的冷度，需要一天的時間。開始時要分段把物質放在液化氣體之中，每一段的溫度比上一段略低。當分段降低溫度時，我們可以看到新的境界。

在華氏零下 50 至 100 度時，我們到達了地球上有記錄以來的最冷溫度的境界之中。到華氏零下 110度（這是人類普通生活環境中找不到的低溫）時，二氧化碳變成了“乾冰”，呼吸時就要帶上特製的口罩，人間普通的衣服無論著得多麼厚都難以在這種凍寒情況下生存片刻。

再下降100度時，大多數的東西都會凍成固體，而在華氏零下258度時，甲烷液化，我們進入了凍劑學研究的範圍之內。1957年時有一艘特製的船"甲烷先鋒號"横渡大西洋，停泊在泰晤士河口，裝有2,100噸的液體天然氣，是用特製不銹鋼容器裝納的。這是第一次運這種物品過大西洋的航行。這種液體在倫敦又轉成氣體，通過管子去供家庭及工廠取暖之用。這次試驗的成功促成了一家國際公司組織的成立。這家國際性甲烷公司準備把撒哈拉區內的天然甲烷供應給英國、日本以及其他缺乏燃料的國家。

在華氏零下297度時形成的液態氧用途特別多，從發射火箭一直到高空飛行用的呼吸瓶都要用它。但是最大的用處是在鋼鐵工業中。現在美國很多鋼鐵廠的鍊鋼爐旁都有液體氧氣。

在食品部門中，"凍劑學"的用途也很大。研究人員們發現在運輸中的食品不必經過冷藏設備，只要由一個裝有華氏零下320度的液體氮容器中，自動將氮霧直接射到食品運送貨車或者列車冷藏車中，可以維持華氏零下 30 度左右的溫度。氮氣無臭、無味、無色、無毒，不致使食品的味道和色澤發生變化。新方法使凍藏格外可靠，價錢減低，因此可能使凍藏轉運業發生革命性的變化。

在使氮氣液化的溫度之下約 80 度時，我們進入了冷凍的新世界之中：這是外層太空、土星表面以及距我們最遠的行星上的寒冷。在製造太空艙時一定要採用某種合金及介於金屬之間的質料，因爲這時鋼鐵變得非常脆弱，輕輕一敲就會粉碎的。在華氏零下411度時，氖氣開始液化，到華氏零下423度時，氫氣也會液化。

再向下降 27 度時，我們開始進入最古怪的境界之中，許多物質都現出新的性質：普通的金屬有一半以上會失去了電阻力而成爲超級導電體（ *super-conductor* ），使進入線路中的電流可以永遠不停地流轉。

紅寶石（*ruby*）在普通室溫中傳熱性能極差，而在某種超冷凍溫度

下，會有比銅在普通溫度情況下的傳熱性能還要快 60 倍的傳熱性。含碳成分低的鋼鐵之堅強度，會比在普通室溫時增加 5 倍。

經過超冷凍的液體氦 - 2 看來不受任何自然定律的約束。它能通過極細的縫隙或者孔穴（直徑約一吋的百萬分之一），是任何氣體所辦不到的。它還有一種奇怪的波狀運動，我們叫做第二音波型的運動，是交替發生冷卻和加熱作用的兩種波紋的運動。液體氦 - 2 還有一種向上轉的性能。普通液體在容器中旋轉時，中心的旋渦向下轉；液體氦-2在容器中被旋轉時，中心的旋渦向上轉，它的微粒子運動速度比外圍的微粒子運動速度快。

因此，美國的科學家們採用低溫工具來研究物質的秘密，包括熱、磁力、特別是超級傳導性能等。

在超級導性的研究中，將某些材料放到液體氦之中，將它們的抵抗力降到零點，使它們成爲超級的導電體。這種情形的詳細原因目前還在研究之中，但是最近發現超導性金屬的表面，即使僅有一吋兩百萬分之一的厚度，也能導電。把幾百萬這樣薄到像頭髮似的金屬膜安放到只有方糖那麽大小的容器之中去，可以完成巨型電氣線路所能作的工作。

液體氦的用途雖然還在徹底探究之中，但是在太空工作中它已受到了重視。火箭導向用的廻轉器（*gyroscope*）採用超導性能，使它絕不發生絲毫移動；同時還有一種絕無雜音的擴音器，使紅外線飛彈偵察器的有效距離大大增加。將來的火箭中會有許多這類的凍劑學設備。

將來的太空飛行也要利用凍劑學。送太空飛行員登陸月球的火箭也採用液體氫。

【超低溫學】（Cryogenics）

在第二次世界大戰之前，冷凍設備的應用範圍低於華氏 − 40° 者絕少，有之也僅限於小規模的實驗性設備。大戰期間以及大戰之後，超低溫的研究日漸重要，時至今日，此種研究已成爲一項專門性的科學，稱

爲超低溫學。多數學者同意，超低溫的範圍係自液體氧的溫度起(−297 °F ，1大氣壓力下），一直到接近絕對零度。

【超低頻】(Very low frequency)

指由 10～30 KHz 之低頻段。

【超重】(Over weight)

當火車突然開動的時候，車上的旅客就會感受到一種向後的推力；如果背後有一堵壁板，旅客就會壓在壁板上。這時就造成了體重增加，即“超重”。超重的原因是由於運動的加速度。在宇宙太空船中的人也會感受到火箭發動機推力所引起的超重。

根據美國太空專家布朗的研究，太空人乘火箭從地面出發到進入軌道，需要能忍受九個重力單位（以G爲代表）。G越是增加，人就越是難受。最初是頭暈目眩，嘔吐大作，到達三個G時，便感到呼吸困難，手足無法活動。到四個G時，頸骨已不能支持頭部的重量，有可能折斷的危險。

照此看來，人類飛入太空，豈不危險？但是，上面所說的情況，只是人在直立或坐著時的情況；如果是橫臥著，抵抗超重的能力就大爲增加了。根據實驗，人如果躺臥著，在十五秒鐘內，腹部和背部可以抵抗四十個G的壓力。

爲了提高太空人抵抗超重的能力，在飛行的加速和減速階段，太空人要穿上太空服，這種太空服能夠抵抗超重作用，故又名抗G服。

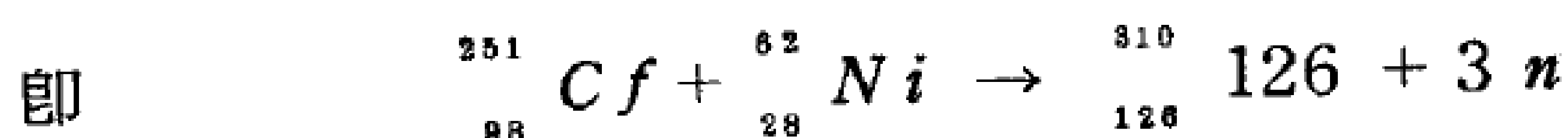
【超重元素】(Super-heavy element)

是原子序數超過103的元素，根據近幾年來的理論分析，皆可由重離子撞擊方法產生，或在熱核試爆中發現。但是由於越重的元素，其自發分裂的機率越大，半衰期也越短，所以在鑑定工作上需要更精確且能鑑別微小數量的儀器。

近年來科學家們對高等質量方程式的研究，顯示質譜上，在已知的

超鈾元素之後某些區間會有特別穩定的原子核。此區域稱爲穩定島（*island of stability*），在島中原子核都有閉合殼層的結構。其中最有趣的是 $^{310}_{126}126$ 。這是一種雙魔數（*double magic number*）的原子核，即原子序數 $Z=126$ 、中子數 $N=184$ 。經重離子理論分析顯示以動能爲 353 MeV 的鎳離子 $^{62}_{28}Ni$ ，轟擊 $^{251}_{98}Cf$ 靶，可產生元素 126，

即



$$^{251}_{98}Cf+{}^{62}_{28}Ni\rightarrow{}^{310}_{126}126+3n$$

此反應的截面約爲 75 毫邦。若此反應能經實驗證實，則穩定島中所有元素的自發分裂和核穩定性問題，都將很有研究的價值。

【超前角】（Angle of lead）

將一個交流電壓加到無電阻的電容器時，電壓由 0 上升，先快後緩；加到電容器的電荷先多後少；電流亦先大後小，同屬正弦波，但電流相位比電壓已超前 90°。

【超音波】（Ultrasonic wave；Supersonic wave）

所謂超音波是指其頻率超出音頻範圍的振動波。人的耳朵能感覺出的音波的頻率約爲 20～20,000 Hz 。20,000 Hz 以上的頻率，因無法聽出來，所以叫超音波。地震波中含有複雜的超音波，在科學領域中，自 20 KHz 以上直至 500 MHz ，都爲超音波使用的範圍。它是把電磁波經聲能轉換器（*transducer*）轉變爲像聲波一樣的縱波發生器。除了電磁及轉換器等一部分機械構造外，超音波的電子部分和短波及微波電子工程大體上並無二致。

超音波機器因爲大都使用極高頻率，故其傳播特性和超短波或微波的直線發射特性相同，遇到不能繞射的障礙時，在反射波中便有訊號中斷的現象。藉此作用而可用作工業上無破壞性的物料和生產品檢驗。

超音波在經過一物體的邊緣時也會發生繞射。在通過兩個不同媒介的界面時，除一部分能量透射入第二媒質外，一部分能量被反射，且發生相位的移變。當其進入媒質時，其入射角之大小爲產生折射的要素。

利用其折射特性，而可作爲超音波顯微術的聚焦透鏡之用，並可和閉路電視機結合使用，以任工業檢查和照相等工作。因爲超音波在通過某些媒質時，能量會被大量吸收而發生高熱，於是可被用作焊接機，其安全及可靠程度甚大。它的用途，已廣被於礦業、工業、農業、醫藥乃至家庭電器用具和洗碗機等之用。在罪惡的一面，超音波被濫用爲刑囚的工具。

超音波本身不是電磁波，它只是電磁波發揮轉化功能的一種表現。由於在功能的表現上作用繁多而成爲一門分支而獨立的技術。在電子工程上說，它只能算微波工程技術的一支。其功用廣泛而技術水準似乎並不如微波通信工程的精密。

第一個現代超音波學產生的儀器是聲納（ *sonar* ），它可幫助航行和定向。因此不論是在戰爭或平時，聲納在海洋中已成爲一有力的助手。測探計（ *fathometer* ）可能是用途最廣的聲納儀器，並且便宜得連遊艇都可裝設。測探計的操作法極爲簡單。一個波動被傳送至水面下，直到它碰到了海底或是一群魚，一部分的波動將由此反射折回測探計。由於此波在水中的速率已經知道，我們很容易就可由它回到測探計的時間算出發生反射處的深度。

在第二次世界大戰期中，工業界也發現了超音波的好處。他們當時製成了反射儀（ *reflectoscope* ），一種用超音波來標定金屬、玻璃等物質中缺陷的檢驗器，它的效能相當的精確，且不損害受查驗的部件。換言之，聲音的振動不會永久改變部件的結構。當然，可以建造破壞性的檢驗器以研究噴氣發動機和別的設備受到損害性的振動時之情況。有人想到可用超音波振動故意改變物質的結構使之有益。把振動的頻率和強度逐步增加，到某一程度時，受超音波轟擊的物質分子會聚集得更緊密。結果，產生更優良的物質。

高頻率的超音波可以使不同的分子互相混合而產生新的金屬合金。

超音波同時也能切割堅硬的金屬，許多以前不能處理的金屬如今都可以超音波輕易的做成需要的形狀。此外超音波的振動可以製造更良好的衣料，可以殺死牛奶中的細菌，使我們可以不煮沸牛奶就能安心的喝它。在改良食物方面，超音波也有多方面的貢獻。

超音波的用途雖多，但是其中最廣泛使用的恐怕要數清潔方面，在超音波清潔器中放入一個骯髒的錢幣，不消一會兒它就如同新的一樣了，沒有一處汚痕存在。現在鐘錶已不需像以往一定要拆開才能清洗，超音波能將整隻完整的鐘錶徹底的清洗乾淨。從太空船中的精細儀器到電子計算機中的微小電路都是超音波清潔器工作的對象，它們不但清洗得乾淨，而且價格還常比老法子來得便宜。

在和平時期超音波回聲儀器用來探索和測量冰山的距離，這種冰山有十分之九在水面下；利用海底的反射可以測量船下的水深；尋出海底沉船的位置，甚至於定出魚群的位置，這些都是聲音反射者。由於所需的波長並不是很短，如果運用壓電石英振盪器，就必須將石英夾在鋼片中使頻率降低，磁滯縮短振盪器，因此在這類工作中廣泛的被應用。

超音波另一個特性是對於飄浮在氣體和液體中的各種小粒子所引起的效應。超音波使煙、浮於空中的碳和類似物的小粒子凝結；它使不相混合的液體，如水和油混合成爲乳狀液。解釋這些事件十分複雜，一般來說這是由於當波由一介質通過而到另一介質中時所產生的力所引起的。超音波甚至於用來使油脂、臘和水形成親密的混合物，而用來製造面霜。

除了清洗外科手術的儀器之外，超音波在科學界和醫學界尙有不少其他的應用。1962 年時，35,000 部機器在各地的醫院中以超音波治療骨頭關節的疾病，甘迺迪總統就曾接受過超音波方法的治療。超音波在外科手術方面也獲得了極大的成功。內耳的某些手術以前頗難執行，現在藉著超音波的幫助已經輕鬆多了。

超音波對於活細胞產生的影響正被廣泛的研究中。譬如現在已知道高頻率的音波能使一些小動物瘋狂，但是對人類卻並沒有什麽不良的影響。

科學界不斷的利用超音波的發明。超音波測溫計曾被利用以測量近乎絕對零度時的溫度。超音波和雷射（*laser*）及其他儀器一起工作的結果指出了音波和光波及電子之間的相互作用。

研究人員曾製出頻率極高的超音波（25,000,000,000*Hz*），這是屬於超高音速（*hypersonics*）的範圍。科學家利用這種頻率學習電子實際運動的狀況。在頻率達到1,000,000 *MHz*時，我們可以直接研究音波的最小能量單位——聲子（*phonon*），而不用憑空去猜測它是怎樣活動的。

【超音頻】（Superaudio frequency）

高過20,000 *Hz* 以上的聲頻。

參閱“超音波（*Ultrasonic wave*；*Supersonic wave*）”條。

【超流體】（Superfluid）

一種在最低能態，遵守波司、愛因斯坦統計法（*Bose-Einstein statistics*）的密集簡併性氣體。如將液態氦從4.2°*K* 起繼續冷卻，起初它的行爲正常，像是一種很輕的液體（密度僅爲水的十分之一）；但至 2.2°*K* 以下，奇怪的事情發生了，我們發現其導熱效率變得極高（很多金屬望塵莫及），並且似乎不須任何推力，即可自由的流動。在一般情形下，如欲使一種液體通過一細長的毛細管（*capillary tube*），非施以一定的壓力不可，且所需壓力隨管的纖細程度急遽增加。此時它所要克服的阻力爲液體的黏滯力（*viscosity force*）、摩擦力（*frictional force*）或附著力（*adhesive force*）。從物理的觀點來說，加壓是要將液體稍稍加熱，故推動液體通過細管所作的功，最後都變成了原子的振動能，亦即是熱。但在2°*K*以下，液態氦可完全不藉任

何推力輕易的流過毛細管。這種狀況下的液態氦便稱爲超流體。超流體有些奇怪的性質；例如把液態氦裝入小燒杯中，再將燒杯置入盛有超流體且溫度在 2.2 °K 以下的容器內，如從儀器內將小燒杯自超流體中提出，液體會像一層看不見的薄膜一樣，越過表面自動爬出來，滴入周圍的液體中而不需任何外力之助。

因爲液態氦在 2.2 °K 以下性質如此奇怪，故通稱爲液態氦Ⅱ，而 2.2 °K以上者則稱爲液態氦Ⅰ。此一過渡溫度精確一點說應該是 2.19°K ，稱爲蘭達點（*Lambda point*）。液態氦Ⅱ的這些現象簡單的說，第一由於氦非常輕且其原子間的引力很小，故在絕對零度時，仍能維持液態。因此，它起碼有到處流動的機會。但一般情況下，流動的液體必會受到摩擦力或黏滯力。如液態氦通過毛細管時遭遇摩擦力，則如前所述，表示推動它通過管子所作的功變成了原子熱振動。

金屬之超導性、零點能量（由浦朗克常數決定）都與量子理論有關。不僅此也，量子原理對於超流體的瞭解亦是頗有幫助的。液體遭遇摩擦或黏滯力，必有原子熱運動產生，而根據量子理論，原子熱運動的能是一束一束的，不連續的。對常溫下的液體而言，這是沒有困難的，因爲此時熱能很多而量子又很微小。但超低溫下的液體，熱能極少，要產生這些特別能束以引起氦原子的熱運動並藉以吸收黏滯能或摩擦能，則可能有困難。換句話說，超低溫下可能無法在液態氦中產生引起摩擦所需的原子運動；要是眞的如此，自然不會有任何摩擦了。

大凡流體都有黏滯性。黏滯性的來源是因流體中的分子與器壁內分子相互衝擊，因而喪失部分動能；流體的速度隨之降低。量子統計力學說，若某種流體的分子具有整數的自旋，會合組成所謂波司流體（*Bose fluid*）；而在極低溫度的狀態下，此等分子會湧入能量最低之基態。基態內的分子，已無動能可失，黏滯性自然消失，超流體得以暢流無阻。自然界中唯一的巨觀超流體是接近絕對零度時的液態氦。

總結起來我們可以說：(1)氦在極低溫時對所謂零點能量很敏感；(2)氦是惰性原子中最輕的，故原子間之作用力極弱，再加上零點運動，遂使氦在極低溫時仍爲液體。(3)因爲氦在極低溫時仍爲液體，其他量子效應遂阻撓了黏滯或摩擦之出現。把這三點併在一道，我們就會瞭解何以超低溫下的液態氦，會有這樣反常的行徑了。

對液態氦性質做的研究工作，有助於物理學家對一般液體的性質之了解。其次，對某種性質特殊的液體從事實驗，對於科學上其他方面的探討也是有幫助的。在流體力學及空氣動力學中，液體或氣體在船身或機翼周圍流動的情形是一件重要的問題。爲了測定流體施於這些面上的力量，通常須將飛機或船艦的模型放在風洞或水櫃中加以試驗，以便與理論上的推算相比較。但在某些特殊狀況下，研究模型在液態氦的“超低溫、超流體”中運動的情形，可能對空氣動力理論的若干極端情形提供更直接的試驗。

【超核】(Hypernucleus ; Hyperfragment)

超核是 1953 年丹尼茲 (*Danysz*) 和普尼夫斯基 (*Pniewski*) 在宇宙射線撞擊空氣中某原子核後的產物中發現之一種將本來原子核中的一個中子置換成 Λ^0 後所成的新原子核。它的符號是在元素符號左下角加上 Λ，例如超氦核是 ${}^{4}_{\Lambda}He$。超核的半衰期和 Λ 大致相同，約在 10^{-10} 秒左右。

【超級雷達】(Super radar)

各城市的飛機場，常因受暴風雪的襲擊及濃霧的籠罩而關閉，空中交通因而中斷，但不久後，這種情形將可獲得解決，商業航空班機可準時降落。新近已研究完成一種雷達及電視著陸導航系統，將可使噴射空中巴士的駕駛員，不受惡劣氣候的影響，憑藉該導航系統可對準跑道安全著陸。一位工程師說：使用這種儀器飛行，機場跑道很清楚的呈現在你的前面。

這種東西是一種高效能的雷達，已正式命名爲自由降落校正系統，約三十六吋寬及四吋深，裝置在飛機的腹部。不像一般碟形的雷達天線，發射出其能量係向四周傳播，僅能接收到一小部

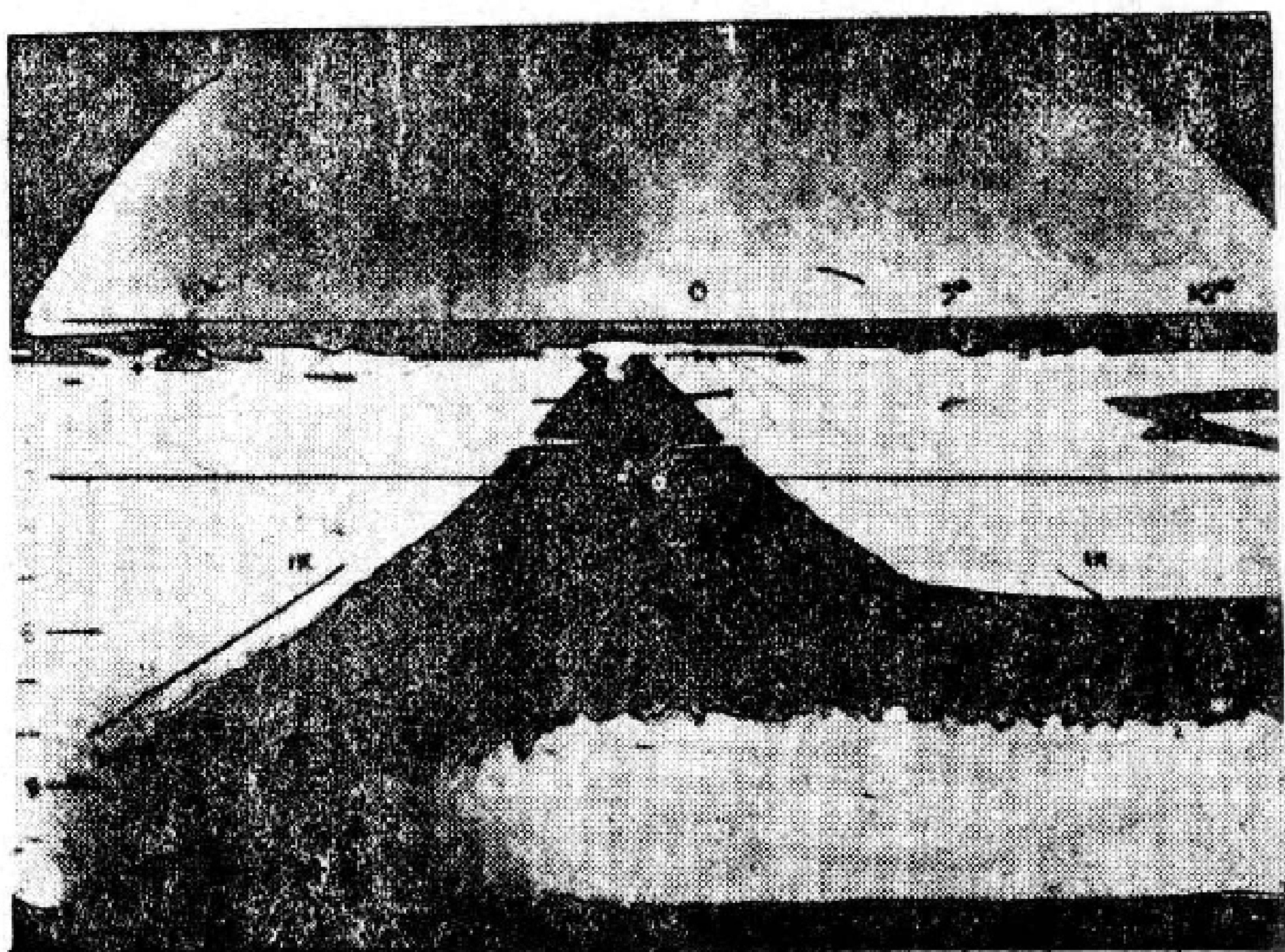


圖 12 — 255
超級雷達幕上的跑道，無論任何惡劣天氣均清晰可見

分反射信號的折回的射線，而這種高效能的雷達發射出的能量，能使射線集中指向某一方面。由於集中其高頻率信號（比一般噴射機頭裝置的氣象雷達要強四倍），這種新式導航系統發出遇到目標物射回的能量愈多，則接收到的能量亦愈多，亦就是指出前面的目標物的影像愈清晰。在飛機駕駛的座艙裝上一種電視螢幕，射回的信號能清晰地呈現出機場的跑道及其他的障礙物，歷歷在目。

這種飛機降落系統的主要功能，保證一種巨型噴射客機的駕駛員在惡劣的氣候下能自動降落，飛機可獲得正確及安全的導航。只要從導航系統中，能夠很清晰看到跑道的影像，駕駛員就可放心由自動控制系統來降落了。

【超級磁石】（Super magnet）

將來進行星際太空飛行時，超級磁石可能成爲太空船的動力。核子熔合發電，是最經濟的電力生產方法，要完成這種生產過程也可能要利用超級磁石。這是超級磁石的兩種可能用途。這種超級磁石輕巧而只

需極少量的電流來加以控制操作，能產生強力的磁場。

多年來美國科學家一直在研究製造強益求強的超級磁石。世界上最強的超級磁石就是從這一研究中產生出來的。

這磁石產生的磁場，比地球的磁場強280,000倍，所儲存的能可以同時燃亮20,000隻100瓦特的燈泡。但是它高僅13吋，濶20吋，重1,320磅，所需電流僅比一個汽車蓄電池所供應的略多少許而已。

超級磁石是美國無線電公司設計製成，在美國航空太空總署屬下，克利夫蘭的路易士研究中心內加以試驗。它的基本設計和操作原理，和普通起重機中用的電磁石並沒有多少不同之處。

他把電流通過一條電線，它會在電線周圍造成一個磁場。把電線繞成一個線圈，該線圈的範圈之中會出現一個磁場。電流越強，或者圈數越多，磁場越強。凡是電磁石，基本操作原理都是這樣的。

超級磁石和普通電磁石的相似之處到此爲止。普通電磁石的線圈是用銀或銅質電線製成，它們是很好的導電體，但還會有抗阻作用。原來應該用以加強磁場的能，變成熱而消失了。一定要持續不斷地供電流到磁石中去。

1961年，美國科學家發現鈮和錫的合金是超級導電物質（最有效的傳電體），只要把它冷卻到近乎絕對零度（攝氏零下273度）。他們發現這種合金即使在一個很強的磁場之中，仍然保持這種超導電性能，這是其他超導體所沒有的性能。這種發現的結果帶來了超導性磁石，在美國經過多年不斷的研究，越造越好。

在一次試驗中，使該磁石達到了140,000高斯的磁力。地球的磁力作用只相當於0.5高斯。

普通電磁石曾經產生過更強大的磁場，不過中心圈小得多。同時它們要有數百萬瓦特的電流和極大量的水來使線圈不會溶化。

超級磁石不損失電，因而只需小量電流，逐漸發展成強力的磁場。

它沒有冷卻的問題。在美國無線電公司製造的磁石中採用了長達 96 哩的超導性鈮、錫合金帶。它包在溫度近絕對零度的液體氦中。

商業性核熱發電的發展非常需要更好的超級磁石。核熱發電能供應取用不竭的低廉電力，利用氫原子熔合的作用。未來的太空船中也可能採用核熱電力。這種飛行中不能採用普通的電磁石。超級磁石體積小，重量輕而需電小，合乎此種用途。

研究人員對利用超級磁石在一種名叫磁水力學(*M.H.D.*)的新奇發電過程中工作的問題也很關心。這種過程中把電離氣體推經過一個強力磁場來發電，這也可能成爲商業性電力供應來源和太空船推進動力。超級磁石對這種發展也有重大關係。

【超弱交互作用】(**Superweak interaction**)

K^0與$\overline{K}^0$都可以經由強交互作用(*strong interaction*)被產生，因此，在產生時，超電荷(*hypercharge*)是一個守恆的量子數。然而衰變過程卻是由弱交互作用(*weak interaction*)而來的，因此，在這個過程中，中性K介子的狀態必須是CP的固有態(因爲弱交互作用守恆CP)，P的運作是將空間反置：$\vec{r} \to -\vec{r}$，而不改變粒子本身的性質；C的運作則是將粒子變換爲反粒子；這兩個變換加起來對K^0介子的總效果，是從K^0的一些狀態變換至$\overline{K}^0$的另一些狀態。我們定義Ψ_K爲K^0在某一狀態的波函數，而令$\Psi_{\overline{K}}$爲

$$\Psi_{\overline{K}} = CP\Psi_K$$

很顯然地，Ψ_K與$\Psi_{\overline{K}}$都不是CP的固有態。可是，如果我們寫Ψ_K與$\Psi_{\overline{K}}$的組合(在質量方面來說，若只算強交互作用的能量，見Ψ_K與$\Psi_{\overline{K}}$是簡併的，因此，它們的組合仍有同樣的質量。)

$$\Psi_S = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_K + \Psi_{\overline{K}}) \qquad \Psi_L = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_K - \Psi_{\overline{K}})$$

則很顯然地

$$CP\Psi_S = \Psi_S \qquad CP\Psi_L = -\Psi_L$$

因此Ψ_S 與Ψ_L 都是CP 的固有態。在衰變過程中，K^0狀態與$\overline{K}^0$狀態混合，而成為K_S與K_L。這種現象事實上已被發現，而且K_S與K_L 還有不同的生命期，K_S 的生命期遠比K_L 的生命期爲短。

CP 在K^0 衰變中是守恆的，假設在1964 年以後，這個信念就已動搖了，因爲有人發現

$$K_L \to \pi^+ + \pi^- \quad \text{或} \ \pi^0 + \pi^0$$

在這些過程中，K_L 的CP 值應爲-1，而經過計算，$\pi^+\pi^-$ 或 $2\pi^0$系統的CP 值爲$+1$。固然，上式的衰變過程在K_L 衰變中只佔一部分，因此，CP 守恆的破壞，也只是很小的一部分。一直到現在爲止，物理學家們還不能完全決定這種CP 守恆的破壞是不是由於弱交互作用，還是由於一種新的超弱交互作用（比弱交互作用還要弱）。

關於利用對稱性將不同的反應結果連繫起來，一般來說，需要數學中群論（*group theory*）的運算。例如，由同位旋的守恆，我們可以得出（p,p），（p,n），（n,n）之間的作用力都相同（不算電磁力）；再如，對於下面的四種散射過程

$$\pi^+ + p \to \pi^+ + p$$

$$\pi^- + p \to \pi^- + p$$

$$\pi^- + p \to \pi^0 + n$$

$$\pi^0 + p \to \pi^0 + p$$

我們可以利用同位旋的守恆與時間反置（*time invertion*）的對稱去推斷，這些散射的截面之間，存在著一項關係

$$\sigma(\pi^+ + p \to \pi^+ + p) + \sigma(\pi^- + p \to \pi^- + p)$$
$$= \sigma(\pi^- + p \to \pi^0 + n) + 2\sigma(\pi^0 + p \to \pi^0 + p)$$

另外，近似的對稱也往往會產生很有用的結果，只要我們對破壞對稱的項的性質加上一些假設。一個很有名的例子就是用八正道（*eight fold*

way ）理論〔 $SU(3)$ 對稱〕去導出一組介子或一組重子的質量之間的關係。那就是葛爾曼、大久保公式（*Gell-Mann-Okubo formula*）

對 0^- 介子　$m_\pi{}^2 + 3m_\mu{}^2 = 4m_K{}^2$

對 $\frac{1}{2}^+$ 重子　$m_\Sigma + 3m_\Lambda = 2m_N + 2m_\Xi$

上面的Σ，π，N，K，Ξ都指其所對應的同位旋多重態，在同一同位旋多重態內的質量差別，是被省略掉的。另外，對 $\frac{3}{2}^+$ 重子的質量公式也很有名

$$m_{Y_1}{}^* - m_\Delta = m_\Xi{}^* - m_{Y_1}{}^* = m_\Omega - m_\Xi{}^*$$

上面三個質量公式都與實驗相當符合，而且事實上，η 介子與Ω重子就是先由八正道理論預測出來，然後再被發現的。這二個粒子的發現，可說是奠定了八正道理論的基礎。

【超高頻】（V.H.F.；S.H.F.；U.H.F.）

（一）*V.H.F.*，*very high frequency*

指由30～300 *MHz* 之射頻數。

（二）*S.H.F.*，*super high frequency*

指由3,000～30,000 *MHz* 之射頻數。

（三）*U.H.F.*，*ultra high frequency*

同*V.H.F.*。

【超高壓力】（Super pressure ）

高壓的產生，涉及很多問題，連最聰明的工程師們也要絞盡腦汁。但是它的原理卻很簡單，就是把相當大的力量集中在一個很小的面積上，力量愈大，而面積愈小，壓力也就愈大。以縫級用的針爲例，用力頂它時，壓力就聚到針尖上，使它足以穿透皮革。但是要設計出一個能大規模產生高壓的機器，卻是一個研究難題，因爲能夠經得起壓力的材料已經難求，而製造出一個能夠經得起本身壓力的機件也是困難的。

現在所產生的壓力，已經高到不能再用每方吋幾磅那一類的字眼來

說明了，今天差不多只有用天文數字才足以說明，因此研究人員多採用“仟巴”爲單位。每一個仟巴大約等於每方吋一萬四千五百磅的壓力。或者是將近正常大氣壓力的一千倍，海洋最深處水的壓力，大約剛剛超過一個仟巴。來福槍彈射在鋼甲上，能產生一百個仟巴的壓力，地心的壓力則估計約爲三千五百個仟巴。

一般認爲，超過三十個仟巴即屬於超高壓的界域，在普通室內溫度下，壓力一旦超過三十個仟巴，一切液體就會凝結。目前我們用機器產生而又能繼續保持數小時之久的最高壓力，大約是四百個仟巴；除了少數例外的情形。這些產生高壓的機器，通常是利用若干噸鋼鐵和強力的液壓喞筒來壓縮一兩甚至不及一兩的物質。這個被壓的物質就是研究的對象。

一般的物質在大壓力之下，會發生急遽而突然的變化。例如：一塊冰在十仟巴至二十五仟巴壓力之下，會以六種迥然不同的結晶形狀出現在我們眼前，最後變出來的形狀和普通冰塊絕無任何相似之處；它須在攝氏二百六十度的高壓之下才能熔化，密度極大，落入水中會像鉛塊般立即下沉。如果壓力突然消失，它就會猛烈爆炸。

在普通情形下，壓力一旦消失，物質會立刻變回原形，因此科學家極難把機器內所產生的神奇變形物質保留下來。現在，科學家正在努力尋求一種能把高壓的效能保持不散的方法，以使高壓下變形的物質，能在普通大氣壓力下，仍舊或多或少地保持它在高壓下的形狀。

在高壓力下形成的金屬，具有很多可能極有用途的特質。例如脆而易碎的鉍（*Bi*）和鉑（*Pt*），在高壓之下伸長性大增，可擠成各種形狀。製造省電變壓器的矽鋼，也是一種脆金屬，但將來也有可能在高壓之下構成各種形狀。如果高壓和溫度並用，就可使很多金屬不易因連續反覆之應力作用而致損毀。這是製造火箭和超音速運輸機主要零件時的主要問題。

最高的壓力（高達五千個仟巴）可由大爆炸後那一剎那間的震波產生，它存在的時間雖然只有一秒鐘的百萬分之幾，但是利用爆炸力所生的高壓的試驗，其科學上的價值常可與機械中靜態高壓的試驗相比擬，一般而論，五十至一百磅猛力炸藥的爆炸震波可與高壓機器產生相同的高壓。但是這兩者所產生的壓力也有不同之處，特別是能促成某種特別變化的壓力而言，水受到爆炸力產生的壓力時就四處迸濺，但不會結冰，部分原因是壓力存在時間太短了，冰的結晶體還沒有來得及形成壓力就已消失了。

有一些高壓物質極爲穩定，研究人員已經很成功地使它們保持高壓下的形狀，其中有些且有很高的商業價值，最了不起的一項成就，就是用石墨製成鑽石。

【超控制管】（Super-control tube）

即可變放大因數管，又名可變互導管。

【超速離心機】（Ultracentrifuge）

以極高的角速率運轉的離心機，在膠體化學和生物化學研究上很有用。

【超距力】（Action at a distance force）

凡是兩物體不需互相接觸，而在相隔一段距離時就可產生效應的力，稱爲超距力。例如磁力、重力等。

【超距作用】（Action at a distance）

兩質點不要任何媒介即可發生之作用，此作用稱爲超距作用。物理學上一物體，不藉任何直接接觸的機械連繫，而能對另一物體施力的作用。萬有引力和電荷間的作用力都是超距作用的最好例子。雖說如此，但牛頓卻極力反對不藉任何介質的傳遞而能使力生效的論調。爲了解釋萬有引力、電力和磁力等在眞空中亦能發生作用的現象，十七、十八和十九世紀的科學家大膽假設各種假想流體（最著名的是發光性以太），

透過這些介質，力才得以傳遞，就像液體壓力和空氣中聲波的傳遞情形一樣。

當馬克士威完成描述電磁現象的微分方程式時，發現以太存在與否，該方程式均能成立，他認爲這種現象可以力場理論（無機械作用）解釋。以後邁克生、毛立實驗（*Michelson- Morley experiment*）以及德布洛利（*De Broglie*）所倡粒子與場相應性的說明等不用以太爲基本假設的結果，已將超距作用的主題自嚴重的爭論中消除。目前的場論認爲這種作用可以非機械力，而且設有任何介質存在時，亦爲有效的場相互作用解釋。

【超短波】（Ultra short wave）

波長從10米到1米的電磁波。超短波有時指的是短於10米的全部一直到最短的厘米波。超短波與短波不同，不能傳播到很遠的距離，因爲它並不爲電離層所折射，到達大氣的高層以後，通常就不再回到地面。因此，只有在不超出直視距離太遠的地方，超短波才能保證完全可靠的通信。超短波比短波具有一系列重要的優點。首先是超短波的輻射裝置與短波天線比較起來，尺寸很小，特別是在以方向作用很強的輻射裝置時，情況更是如此。

利用超短波，可以製造比短波強得多的銳定向天線。因爲強方向性保證著大的天線增益，所以超短波天線的效率能比短波天線要高得多。超短波的另一個極爲重要的優點在於能夠發送廣濶的頻帶。在某些場合下，這點具有至爲重要的意義。例如對於高質量電視來說，就需要寬濶的頻帶。因此，在高質量電視中，幾乎完全採用超短波。超短波的上述各項優點使得它適合於許多方面十分重要的用途，例如適用於雷達等等。

【超短波收發機】（Ultra high frequency transceiver）

一種短距離聯絡之無線電工具，如小型之無線電話機及著陸指示器

等。

【超短波接收機】(Ultra high frequency receiver)

此類接收機，專用作接收短距離通信如雷達電視等。

【超短波發射機】(Ultra high frequency transmitter)

發出 30 MHz 至 300 MHz 超射頻之發射機。

【超晶格線】(Super-lattice lines)

高溫時某些原子組成的晶體中常作不規則的排列，即各種組成原子隨意佔據晶格中任何位置。當溫度低於某臨界溫度時，則不同原子只能佔據晶格中某些不同的特定位置。如 $AuCu_3$ 是面心立方體，在低於 388° C 時，金原子只佔據在立方體的各角，銅原子則分佔各面心的位置。高於此溫度時，兩種原子任意排列，於是這兩種位置就沒有什麼不同。這種新得到的規律性，可由規則排列和不規則排列的 X 光照片上看出來。當排列規則性改變時，新得到的 X 光反射線，就稱爲超晶格線。當兩種位置相當時，這兩層各自的反射線可能干涉而消去(破壞性干涉)，而在兩種位置分別排金原子及銅原子後，由於不同類原子的原子構造因素(*atomic structure factor*)不同，兩層干涉的結果不可能造成完全抵銷，而仍有反射存在，因此低於 388 °C 時，X 光反射線較多，這些就是超晶格線。

【超鈽元素】(Transplutonium element)

在週期表上的位置高於鈽的那些元素，也就是原子序數大於 94的元素。

參閱“超鈾元素(*Transuranic element*)”條。

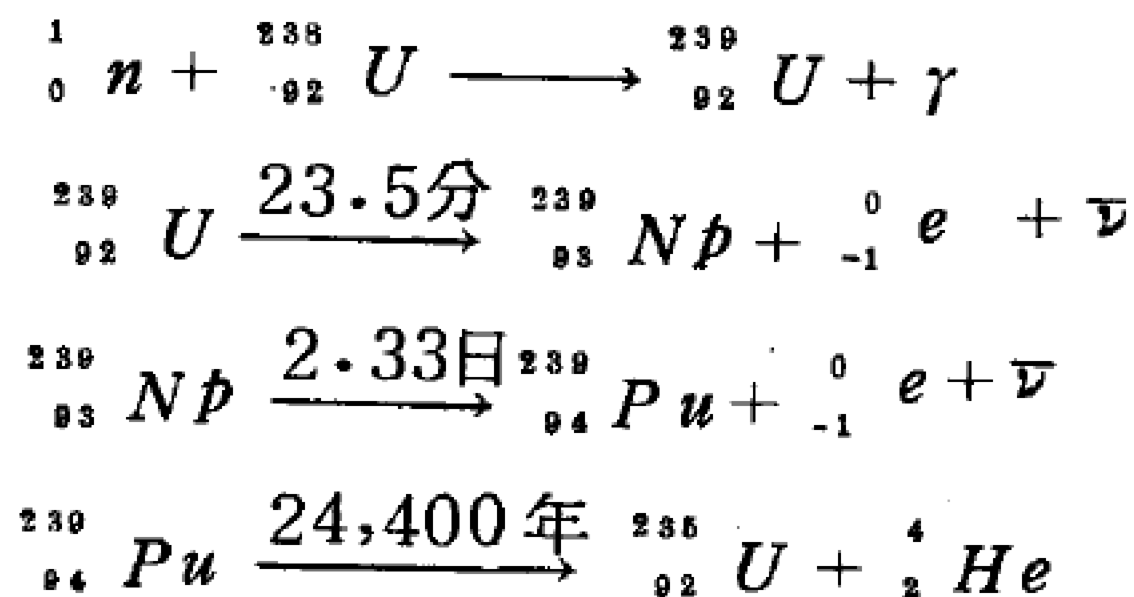
【超鈾元素】(Transuranic element)

在週期表上的位置高於鈾的那些元素，也就是原子序大於 92 的元素。這些元素是在 1939 年以後才陸續加入週期表的行列；它們是：1940 錼($_{93}Np$)、1941 鈽($_{94}Pu$)、1944 鋂($_{95}Am$)、1944

鋦（$_{96}Cm$）、1949 鉳（$_{97}Bk$）、1950 鉲（$_{98}Cf$）、1953 鑀（$_{99}Es$）、1953 鐨（$_{100}Fm$）、1955 鍆（$_{101}Md$）、1957 鍩（$_{102}No$）、1961 鐒（$_{103}Lw$）、1966 鑪（$_{104}Ku$）、1968（$_{105}Ha$）。都是核分裂或各種重粒子撞擊鈾及超鈾元素的核反應之產物。由於超鈾元素均有放射性，衰變殆盡，因此自然界中不易發現甚至已不存在。其中有些元素如錼和鈽尚存於地殼內，但因產量太少，不敷應用，只有藉助人工製造。元素 102，鍩的命名是最近才決定，而 104、105 目前尚未正式定名。

錼（93）和鈽（94）的發現：第一個被發現的超鈾元素是原子序爲93的錼（$_{93}Np$，*neptunium*），其命名依太陽系行星順序源自海王星（*Neptune*），因鈾（*uranium*）命名得自天王星（*Uranus*）。

錼是麥克米蘭（*McMillan*）和阿貝遜（*Abelson*）在核分裂實驗時，鈾經中子照射後的衰變產物中所發現。這些中子是由柏克萊的60吋廻旋加速器射出的高能氘核撞擊鈹靶所產生的。中子照射鈾－238後的反應如下：



$$^{1}_{0}n + {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{239}_{92}U + \gamma$$

$$^{239}_{92}U \xrightarrow{23.5分} {}^{239}_{93}Np + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

$$^{239}_{93}Np \xrightarrow{2.33日} {}^{239}_{94}Pu + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

$$^{239}_{94}Pu \xrightarrow{24,400年} {}^{235}_{92}U + {}^{4}_{2}He$$

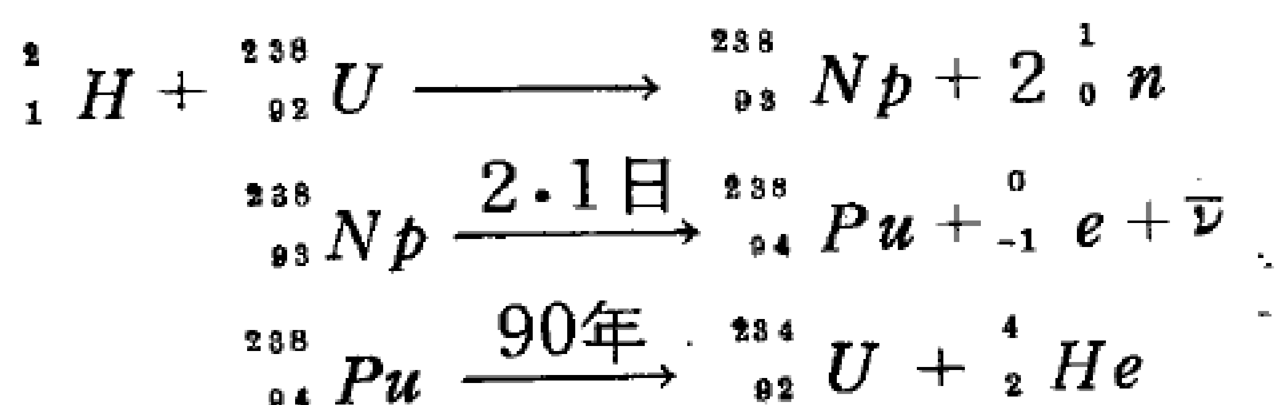
首先 ^{238}U 捕捉中子後變爲不穩定的 ^{239}U，此過程中還會放射 γ 射線。^{239}U 經自然衰變（放射電子，半衰期 23.5 分）就產生了第一個超鈾元素 ^{239}Np。

麥、阿二氏以物理和化學等方法證實這種半衰期爲 2.33 日的 β 發射體就是原子序 93 的同位素。經貝他衰變後，此同位素又轉變爲第二

個超鈾元素，鈽（ $_{94}Pu$, *plutonium* ）。鈽的命名也是依太陽系行星順序源自冥王星（ *Pluto* ）。

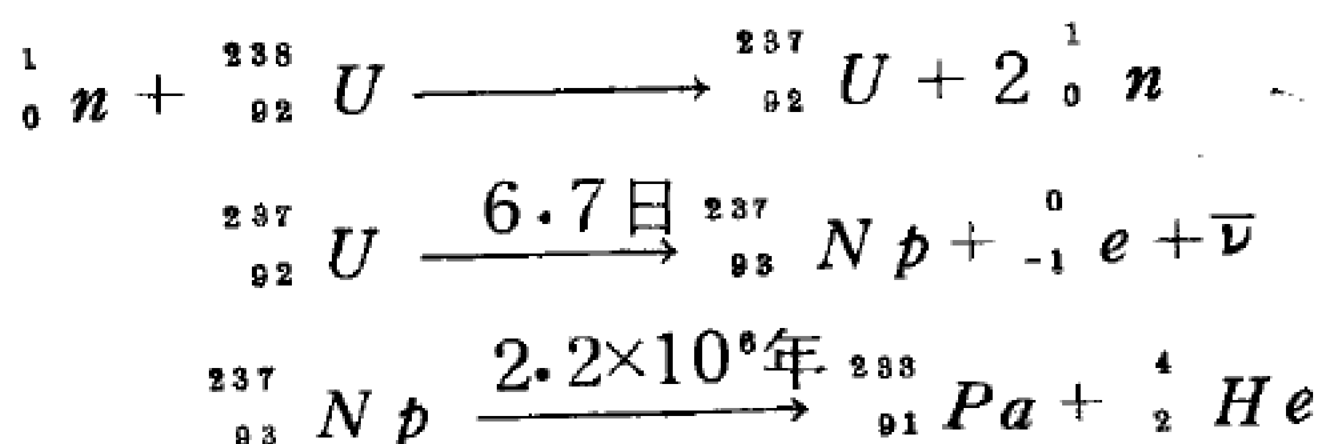
元素 $^{239}_{94}Pu$ 的半衰期很長，約 24,400 年，衰變放出 α 粒子後就變爲 ^{235}U 。 $^{239}_{94}Pu$ 最重要的物理特性是可藉慢中子產生分裂，所以是反應器的良好燃料。第一次有點“重量”的 ^{239}Pu 是在 1942 至 1943 年間由華盛頓大學的 60 吋廻旋加速器射出的中子照射 300 磅含六結晶水的硝酸鈾所製造的。該實驗只生產了幾微克（ 10^{-6} 克）的 ^{239}Pu 。

第二種錼同位素是 1940 年西柏格（ *Seaborg* ）、麥克米蘭、甘迺迪（ *Kennedy* ），和華爾（ *Wahl* ）等人利用柏克萊廻旋加速器射出的16 *MeV* 氘核撞擊氧化鈾所產生的，其反應系列是



$$^{2}_{1}H + ^{238}_{92}U \longrightarrow ^{238}_{93}Np + 2\,^{1}_{0}n$$
$$^{238}_{93}Np \xrightarrow{2.1日} ^{238}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$
$$^{238}_{94}Pu \xrightarrow{90年} ^{234}_{92}U + ^{4}_{2}He$$

另一種錼同位素 $^{237}_{93}Np$ 是由快中子撞擊鈾而成，反應式爲



$$^{1}_{0}n + ^{238}_{92}U \longrightarrow ^{237}_{92}U + 2\,^{1}_{0}n$$
$$^{237}_{92}U \xrightarrow{6.7日} ^{237}_{93}Np + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$
$$^{237}_{93}Np \xrightarrow{2.2\times10^{6}年} ^{233}_{91}Pa + ^{4}_{2}He$$

$^{237}_{93}Np$ 是一種 α 發射體，半衰期爲二百二十萬年，這是所有超鈾同位素中壽命最長者。由於其半衰期特別長，近乎穩定元素，所以錼鹽均屬此同位素。已鑑定出的錼同位素已達十一種之多（ 231 ～ 241），其中除 231、233、237 外均爲 β 發射體。

錼元素不易氧化，比重是 1.77 ，其化性與鈾近似。這顯示超鈾元素也形成與稀土相似的系列。鈽的化性亦與鈾及錼相似，鈽的 α 放射性很強，在研究其特性時需注意防護設備。

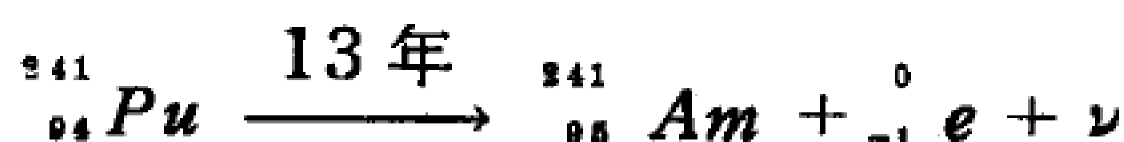
鋂(95)和鋦(96)的發現：原子序為 95 的元素是 1944 年西柏格、詹姆士(*James*)、和摩根(*Morgan*)等人在芝加哥大學的金屬實驗室所發現的。 $^{239}_{94}Pu$ 經阿岡反應器的中子撞擊後產生下列反應：



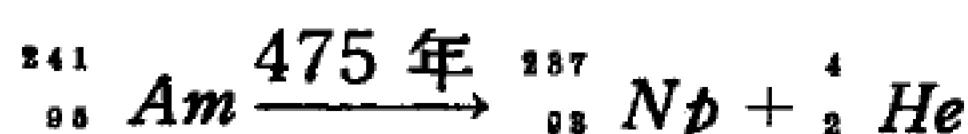
$$^{1}_{0}n + ^{239}_{94}Pu \longrightarrow ^{240}_{94}Pu + \gamma$$



$$^{1}_{0}n + ^{240}_{94}Pu \longrightarrow ^{241}_{94}Pu + \gamma$$



$$^{241}_{94}Pu \xrightarrow{13\text{年}} ^{241}_{95}Am + ^{0}_{-1}e + \nu$$



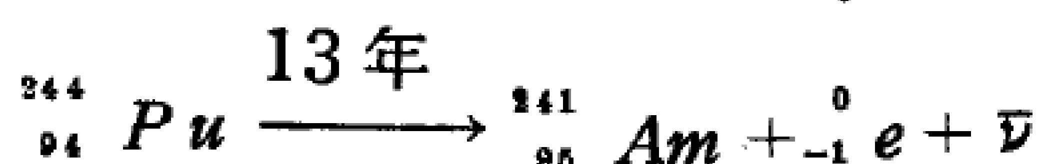
$$^{241}_{95}Am \xrightarrow{475\text{年}} ^{237}_{93}Np + ^{4}_{2}He$$

第 95 個元素，鋂($_{95}Am$, *americium*)，命名得自美洲(*America*)與稀土元素的銪($_{63}Eu$, *europium*)源自歐洲(*Europe*)一詞相對應。同位素 $^{241}_{95}Am$ 是一種 α 發射體，半衰期為475 年。研究鋂的化性時，多以此同位素為準。已製造出的鋂同位素共十種(237 ～ 246)。這些都可由中子和高能粒子產生。

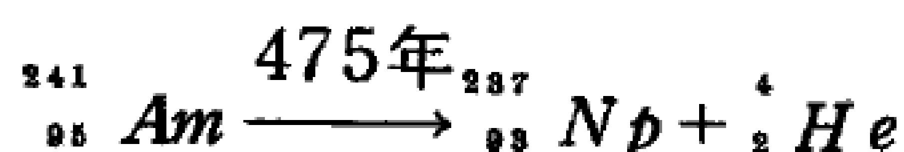
1944 年科學家以柏克萊 60 吋廻旋加速器射出的 40*MeV* α 粒子撞擊天然鈾也產生鋂



$$^{4}_{2}He + ^{238}_{92}U \longrightarrow ^{241}_{94}Pu + ^{1}_{0}n$$



$$^{244}_{94}Pu \xrightarrow{13\text{年}} ^{241}_{95}Am + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$



$$^{241}_{95}Am \xrightarrow{475\text{年}} ^{237}_{93}Np + ^{4}_{2}He$$

次一元素鋦($_{96}Cm$)是 1944 年西柏格、詹姆士和吉歐索(*Ghiorso*)以柏克萊加速器產生的 32 *MeV* α 粒子撞擊鈽(得自反應器)，第一次製造成功的。其反應為：



$$^{4}_{2}He + ^{239}_{94}Pu \longrightarrow ^{242}_{96}Cm + ^{1}_{0}n$$



$$^{242}_{96}Cm \xrightarrow{163日} {}^{238}_{94}Pu + {}^{4}_{2}He$$

同一步驟有時亦會產生另一種鋦同位素，此反應放出三個中子



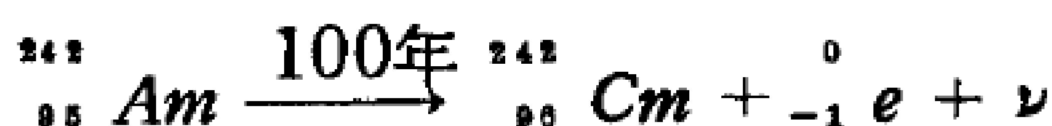
$$^{239}_{94}Pu(\alpha, 3n)\,^{240}_{96}Cm \xrightarrow{27日} {}^{236}_{94}P + {}^{4}_{2}He$$

元素96鋦（ $_{96}Cm$，*curium*）的命名是紀念居里夫婦（*Pierre and Marie Curie*），其對應的稀土元素釓（ $_{64}Gd$，*gadolium* ）之命名也是紀念芬蘭科學家哥德霖（*J*·*Godolin*），他於1794 年在瑞士億特拜（*Ytterby*）城附近的黑色礦藏中第一次發現此元素及其氧化物。

產生鋦最有效的方法是強中子照射



$$^{1}_{0}n + {}^{241}_{95}Am \longrightarrow {}^{242}_{95}Am + \gamma$$



$$^{242}_{95}Am \xrightarrow{100年} {}^{242}_{96}Cm + {}^{0}_{-1}e + \nu$$



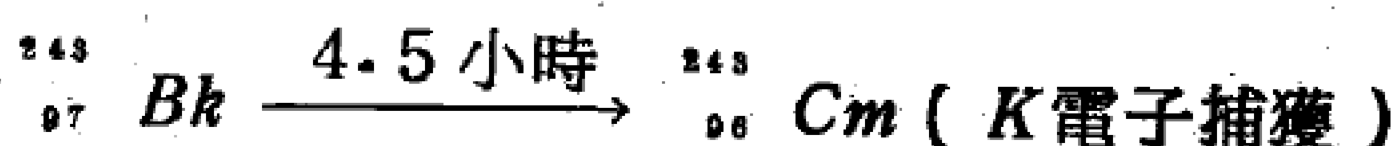
$$^{242}_{96}Cm \xrightarrow{163日} {}^{238}_{94}Pu + {}^{4}_{2}He$$

鋦242有很強的α放射性，約每毫克每分鐘10^{13}次蛻變。此放射性比度（鐳的300倍）非常大，甚至一微克的量都足以使照相底片感光。已知的鋦同位素有十三種，都是α發射體，半衰期在2.5小時至10^4年之間。鋂與鋦的化性和鈾相似，也與5*f*錒系其他元素相似。

鉳(97)和鉲(98)的發現：超鈾元素爲97是湯普森（*Thompson*）、吉歐索和西柏格於1949 年十二月在柏克萊發現的。鉳（ $_{97}Bk$，*berkelium*）的命名得自柏克萊城（*Berkeley*），因爲其對應的稀土元素鋱（ $_{65}Tb$，*terbium*）命名也源自發現稀土礦的瑞士小城億特拜。鉳第一次是以柏克萊60吋廻旋加速器射出的35*MeV* 氦離子撞擊鋂而產生的



$$^{4}_{2}He + {}^{241}_{95}Am \longrightarrow {}^{243}_{97}Bk + 2\,^{1}_{0}n$$



$$^{243}_{97}Bk \xrightarrow{4.5\text{小時}} {}^{243}_{96}Cm\ (K\text{電子捕獲})$$

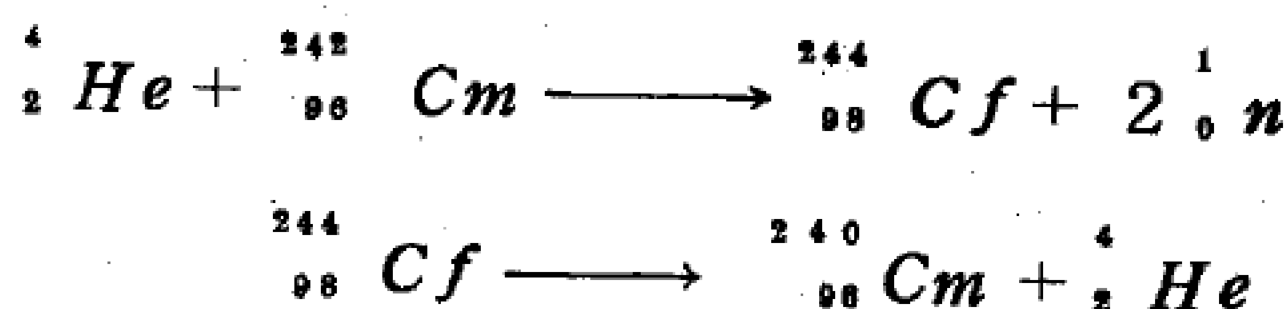
或有1％的機會行下式反應：



$$^{243}_{97}Bk \xrightarrow{4.5\text{小時}} {}^{239}_{95}Am + {}^{4}_{2}He$$

現在已鑑定出的鉳同位素共有八種（243～250）。其中半衰期最長的是 ^{247}Bk 的1,000年，這是α發射體；研究鉳化學特性時均以此爲準。

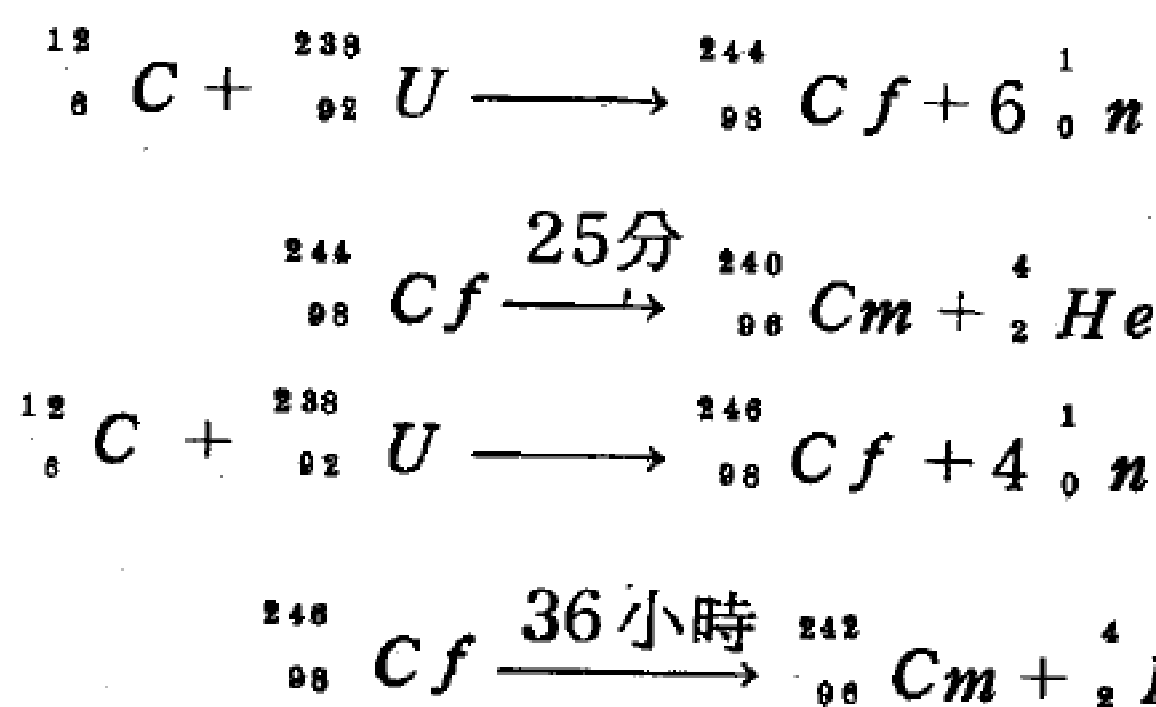
次一超鈾元素，原子序爲98，鉲（$_{98}Cf$，*californium*）的命名是因1950年湯普森、吉歐索和司屈特（*Street*）等在加州大學發現該元素，爲紀念該大學（*California*）而得的。此元素第一次是由35*MeV*氦離子撞擊鋦而產生。



$$^{4}_{2}He + {}^{242}_{96}Cm \longrightarrow {}^{244}_{98}Cf + 2\,{}^{1}_{0}n$$

$$^{244}_{98}Cf \longrightarrow {}^{240}_{96}Cm + {}^{4}_{2}He$$

在此反應中，一克的鋦-242只有百萬分之幾是有效的加速器的靶核，第一次製得的鉲只有5,000個原子。現在已知的鉲同位素有十一種（244～254）。鉲同位素產額較多的方法是藉加速器射出的碳離子撞擊鈾。



$$^{12}_{6}C + {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{244}_{98}Cf + 6\,{}^{1}_{0}n$$

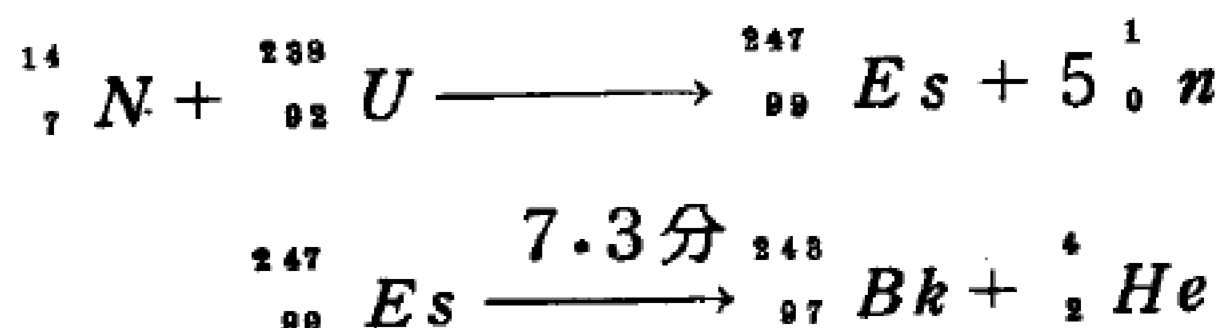
$$^{244}_{98}Cf \xrightarrow{25\text{分}} {}^{240}_{96}Cm + {}^{4}_{2}He$$

$$^{12}_{6}C + {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{246}_{98}Cf + 4\,{}^{1}_{0}n$$

$$^{246}_{98}Cf \xrightarrow{36\text{小時}} {}^{242}_{96}Cm + {}^{4}_{2}He$$

鑀（99）和鐨（100）的發現：這兩種元素是1953年在太平洋一

次所謂邁克（*Mike* ）熱核試爆的殘留物中第一次發現的。1953 年底，由柏克萊加速器射出的高電荷氮離子 ^{14}N（＋6）撞擊 ^{238}U 而製造成功

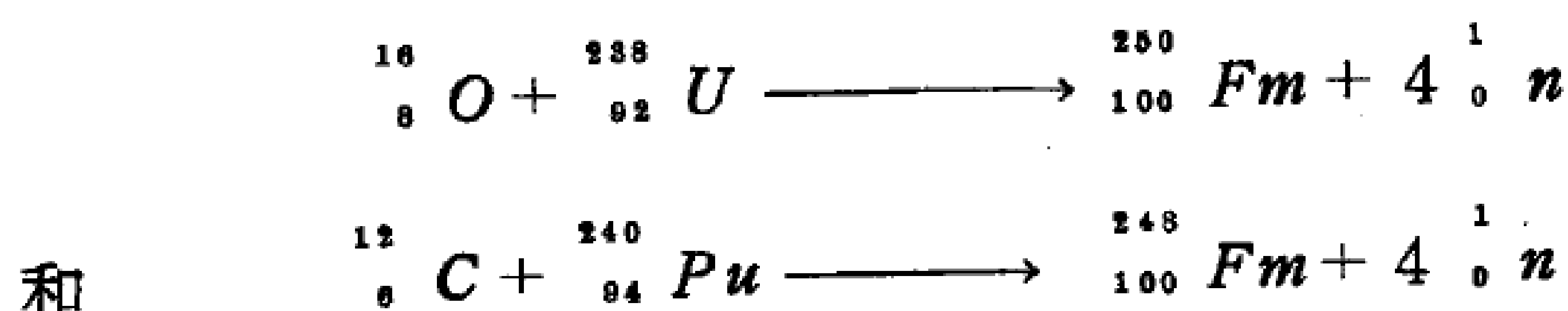


$$^{14}_{7}N + ^{238}_{92}U \longrightarrow ^{247}_{99}Es + 5\,^{1}_{0}n$$

$$^{247}_{99}Es \xrightarrow{7.3分} ^{243}_{97}Bk + ^{4}_{2}He$$

有記載的鑀同位素目前已有十二種（245～256），其中半衰期最長的是 $T_{1/2}$＝500日的 ^{254}Es。

類似方法，以氧離子撞擊鈾或碳離子撞擊鈽，均能產生鐨的同位素



$$^{16}_{8}O + ^{238}_{92}U \longrightarrow ^{250}_{100}Fm + 4\,^{1}_{0}n$$

和
$$^{12}_{6}C + ^{240}_{94}Pu \longrightarrow ^{248}_{100}Fm + 4\,^{1}_{0}n$$

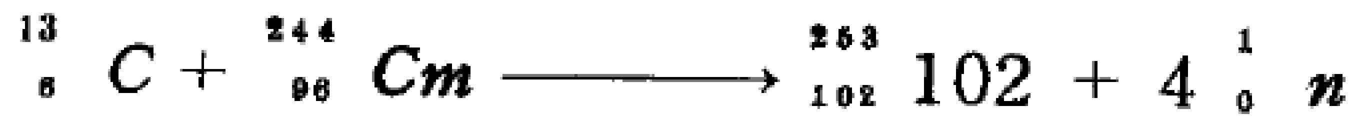
鐨同位素目前已有十種，248～257。

鑀（$_{99}Es$，*einsteinium* ）和鐨（$_{100}Fm$，*fermium* ）的命名是分別紀念愛因斯坦（*Einstein* ）和費米（*Fermi* ）兩位偉大的科學先驅。

鍆（101 ）和鍩（ 102 ）的發現：鍆（$_{101}Md$，*mendelevium* ）和鍩（$_{102}No$，*nobelium* ）的命名是為了紀念科學家門得列夫(*Mendeleiev* ）和諾貝爾（*Nobel*）二位。鍆第一次是1955 年二月由α粒子撞擊 $^{253}_{99}Es$ 而製造成功。當時所用的鑀太少，所以生產出的鍆只有幾個原子，經分離後，以輻射化學方法成功的鑑定出 $^{256}_{101}Md$。此同位素經 k 軌道電子捕獲後，衰變為 $^{256}_{100}Fm$。半衰期是30 分鐘。$^{254}_{101}Md$ 也存在，半衰期為 90 分鐘。其他同位素250～254 五種亦有報導。

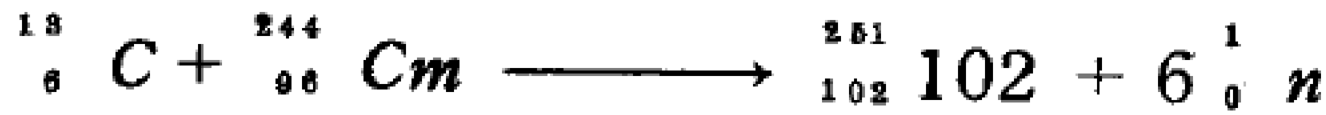
元素102的鍩是1957 年由英國、瑞典和美國科學家組成的集團利用瑞典廻旋加速器所開始製造的。此實驗是以碳離子 $^{13}_{6}C$ 撞擊 $^{244}_{96}Cm$

，希望藉反應



$$ {}^{13}_{6}C + {}^{244}_{96}Cm \longrightarrow {}^{253}_{102}102 + 4\,{}^{1}_{0}n $$

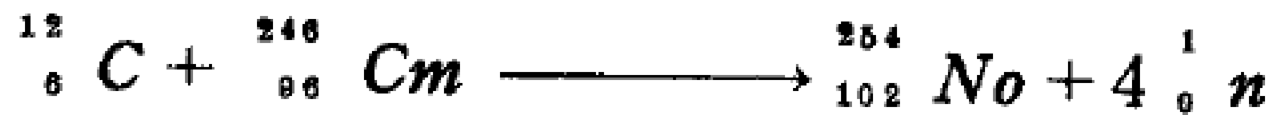
或



$$ {}^{13}_{6}C + {}^{244}_{96}Cm \longrightarrow {}^{251}_{102}102 + 6\,{}^{1}_{0}n $$

以產生 ${}^{253}_{102}102$ 或 ${}^{251}_{102}102$ 。

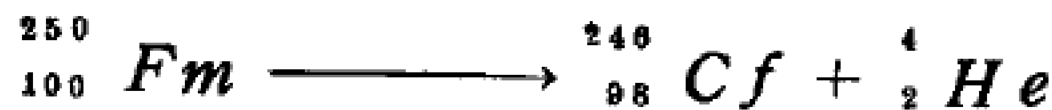
利用 ${}^{13}_{6}C$ 的目的是希望生成的原子核有奇數的質量數。這次實驗由於瑞典加速器計劃的技術上有問題，而未能確實鑑定出 102 元素。不過後來在 1958 年加州柏克萊加速器實驗室以 ${}^{12}_{6}C$ 離子代替 ${}^{13}_{6}C$，撞擊 ${}^{246}_{96}Cm$ 而成功的製成 ${}^{254}_{102}No$ ，其反應爲



$$ {}^{12}_{6}C + {}^{246}_{96}Cm \longrightarrow {}^{254}_{102}No + 4\,{}^{1}_{0}n $$



$$ {}^{254}_{102}No \longrightarrow {}^{250}_{100}Fm + {}^{4}_{2}He $$



$$ {}^{250}_{100}Fm \longrightarrow {}^{246}_{98}Cf + {}^{4}_{2}He $$

目前已證實的鍩同位素有 253、254 和 255 三種。

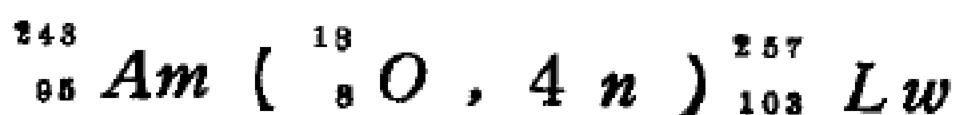
鐒（103）：鐒（ ${}_{103}Lw$, *lawrencium* ）是 1961 年加州大學勞倫斯放射實驗室中首先製造成功的。爲紀念廻旋加速器發明人勞倫斯（ *E . O . Lawrence* ）而命名鐒。他們將 ${}^{10}_{5}B$ 和 ${}^{11}_{5}B$ 混合離子加速後撞擊鉲（ *Cf* - 249、250、251 和 252 諸同位素之混合物）產生同位素 ${}^{257}_{103}Lw$，其半衰期是 8 ± 2 秒，爲 α 發射體。

1968 年，莫斯科原子核反應實驗所的蘇俄科學家們以反應



$$ {}^{243}_{95}Am\,({}^{18}_{8}O,\ 5\,n)\ {}^{256}_{103}Lw $$

鑑定有同位素 ${}^{256}_{103}Lw$，其半衰期爲 35 秒。同時又以反應

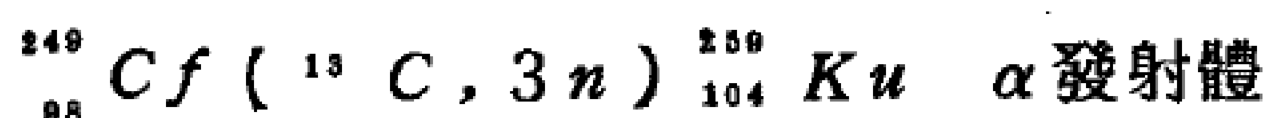


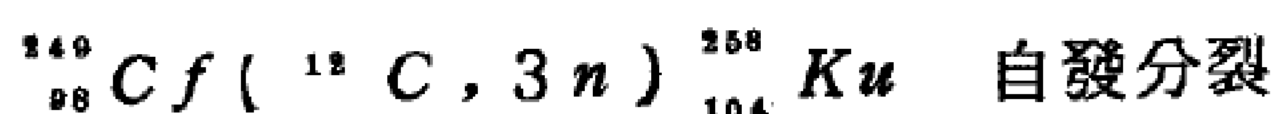
$$ {}^{243}_{95}Am\,({}^{18}_{8}O,\ 4\,n)\ {}^{257}_{103}Lw $$

鑑定有 ${}^{257}_{103}Lw$ ，半衰期約 35 秒。二者均爲 α 發射體。

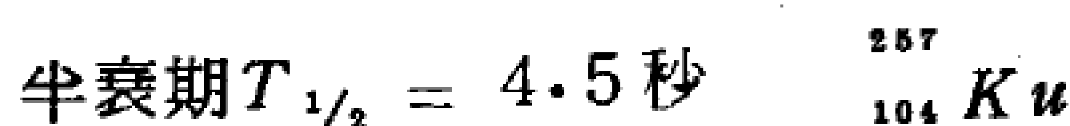
元素104和105：1964年莫斯科原子核反應實驗所用300厘米重離子廻旋加速器將 $^{22}_{10}Ne$ 加速至113～115 MeV ，撞擊 $^{242}_{104}Pu$ 靶，而鑑定有 $^{260}_{104}Ku$ 存在，其反應爲 $^{242}_{104}Pu(^{22}_{10}Ne, 4n)^{260}_{104}Ku$，半衰期約0.3秒。104暫時定名鑪（ *kurchatovium* ），此名源自蘇俄核子物理學家庫哈托夫（*Kurchatov* ）。其符號爲 *Ku*，但迄未被公認採用。1969年加州大學勞倫斯實驗所以高速碳離子（ ^{12}C，^{13}C ）轟擊 $^{249}_{98}Cf$ 核而得 $_{104}Ku$ 的同位素257、258及259。其反應爲


$^{249}_{98}Cf(^{13}C, 5n)^{257}_{104}Ku$　α發射體


$^{249}_{98}Cf(^{13}C, 3n)^{259}_{104}Ku$　α發射體


$^{249}_{98}Cf(^{12}C, 3n)^{258}_{104}Ku$　自發分裂

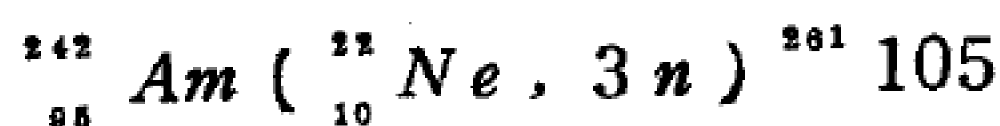

$^{249}_{98}Cf(^{13}C, 4n)^{258}_{104}Ku$

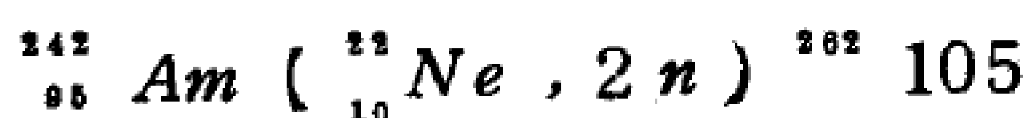

半衰期 $T_{1/2} = 4.5$ 秒　$^{257}_{104}Ku$


$T_{1/2} = 3$ 秒　$^{259}_{104}Ku$


$T_{1/2} = 11$ 毫秒　$^{258}_{104}Ku$

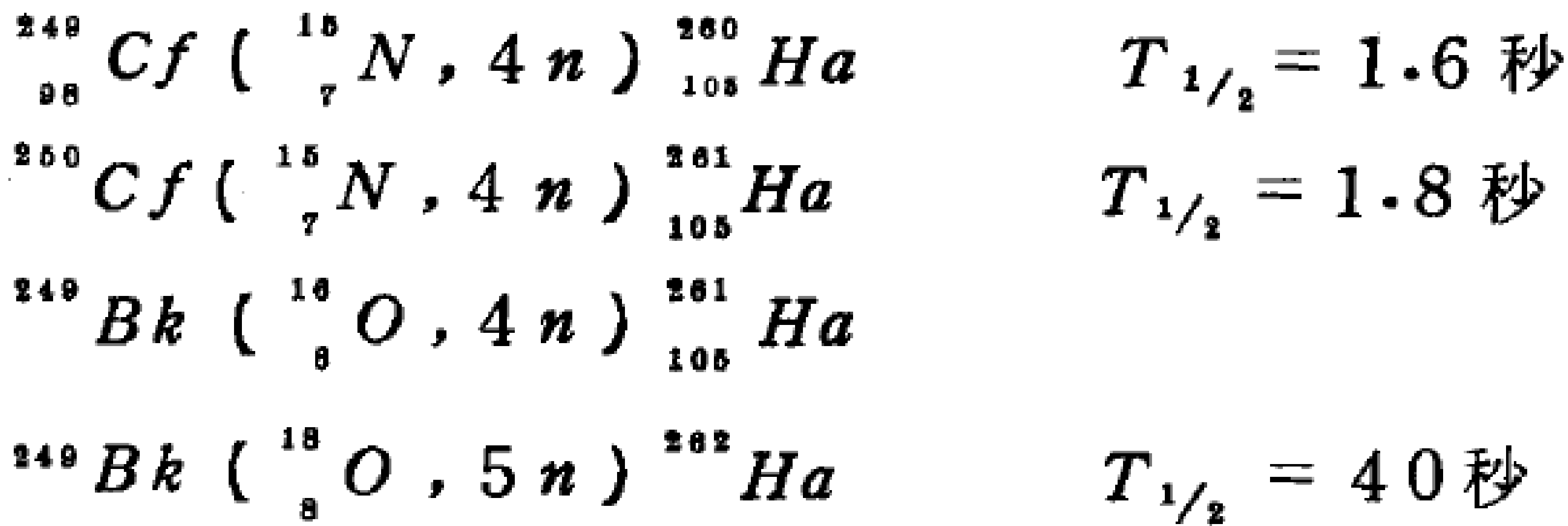
元素105也是由蘇俄的原子核反應實驗所首先發現，時在1968年，以 $^{22}_{10}Ne$ 粒子轟擊 $^{242}_{95}Am$ 而得105原子，核反應爲


$^{242}_{95}Am(^{22}_{10}Ne, 3n)^{261}105$


$^{242}_{95}Am(^{22}_{10}Ne, 2n)^{262}105$

這兩種同位素均是α粒子發射體，半衰期短於3秒。1970至1971年勞倫斯實驗室以柏克萊的重離子線型加速器將*N*及*O*粒子加速至78～102*MeV* ，轟擊 $_{97}Bk$ 及 $_{98}Cf$ 靶核而得105的同位素。並爲紀念

已故的原子核物理學家哈恩（*Otto Hahn*），將此新元素定名爲 *hahnium*，符號爲 *Ha*。其核反應爲



$$^{249}_{98}Cf\,(^{15}_{7}N,\,4n)\,^{260}_{105}Ha \qquad T_{1/2}=1.6\text{ 秒}$$

$$^{250}Cf\,(^{15}_{7}N,\,4n)\,^{261}_{105}Ha \qquad T_{1/2}=1.8\text{ 秒}$$

$$^{249}Bk\,(^{16}_{8}O,\,4n)\,^{261}_{105}Ha$$

$$^{249}Bk\,(^{18}_{8}O,\,5n)\,^{262}Ha \qquad T_{1/2}=40\text{秒}$$

這三種同位素均是 α 粒子發射體。

【超新星】（Supernovae）

恆星的外層突然作巨大的膨脹，最後脫離恆星，此稱恆星爆發。這種現象的結果使亮度作急遽增加，其量約 10 ～ 20 個星等。因爲這些恆星大多數在爆發前實在非常暗淡不容易被觀測到，在它們急遽發射其光輝時乃稱爲新星（*novae*）。目前新星這個名詞用來形容那些現象適中亮度增加平均爲 10 個星等者，情況非常特殊的，亮度增加高達 15～20 個星等的，稱爲超新星。

天文學家發現的第一顆超新星是仙女座第二號變星(*S Andromedae*)，是 1885 年八月二十日夏德特威（*E. Hartwig*）在仙女星系的中央區所發現的。其目視亮度爲 + 5.4 等，而絕對星等（*absolute magnitude*）爲 − 18 星等。

超新星有兩類：第一類超新星（*type one supernovae*）和第二類超新星（*type two supernovae*），它們的特性歸納如下表。

第一類超新星和第二類超新星的性質

	第一類超新星	第二類超新星
質　　量	兩三倍於太陽	太陽質量的十倍以上
最亮時的絕對星等	− 18 ± 1	− 17 ± 1

光度變化	三十天內光度下降約三星等，以後每月下降半星等，延續兩年之久。	最初二、三十天內光度下降較第一類爲慢，但以後則較第一類快得多。
出現次數	在一般星雲內估計每兩三百年出現一次。	在一般星雲內約每百年出現一次。

由此可見第一類超新星雖然比較輕，它的絕對亮度卻比第二類來得大。最顯著不同的是爆炸後亮度的變化，第一類比第二類要慢得多（圖12—256）。

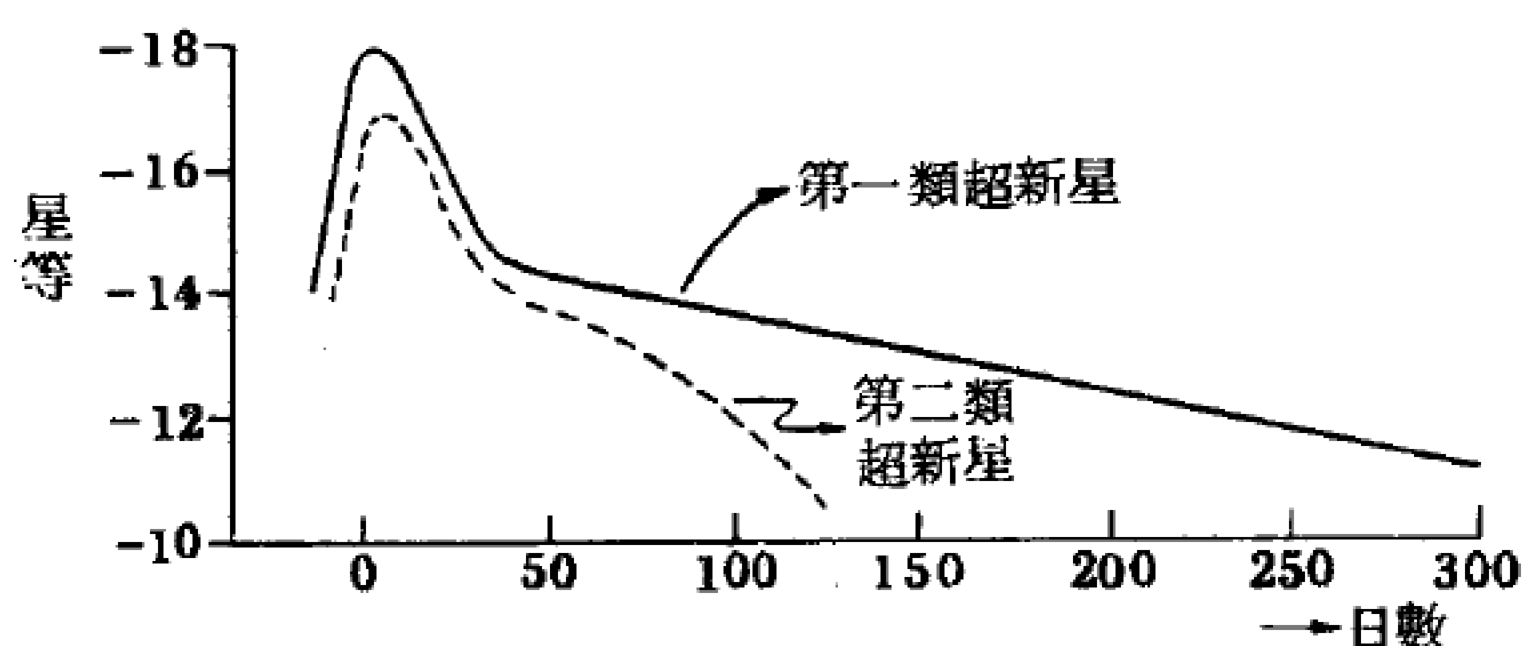


圖 12— 256
超新星爆炸時光度的變化

現在觀測到的超新星總數已經近兩百個，但是這些都在銀河系外的星雲裏，在我們的星雲裏迄今爲止，只確知曾有三個超新星爆炸過，一個是西元 1604 年爆炸的刻卜勒超新星（*Kepler's supernovae*），一個是西元 1572 年爆炸的泰柯超新星（*Tycho's supernovae*），還有一個是1054年爆炸的中國超新星（*Chinese supernovae*，有時也叫*Crab supernovae*）。此外，還有一個在 1006 年爆炸的，也有人懷疑是超新星。根據統計超新星在一個普通星雲裏大概每百年出現一次，近一百年來在我們星雲的旋臂裏沒有超新星爆炸過，而百年之前觀測技術簡陋，只有離我們不太遠的超新星才會引起注意。前述的三個超新星離我們的距離都不超過 5,000 秒差距（太陽到銀河核心的距離是 8,000秒差距）。大概在刻卜勒時代之後，這麼近的範圍內沒有超新星爆炸過，所以歷史上沒有記錄。

至於西元 1600 年以前，西洋的宗教控制科學有1,000 年之久，天象記錄等於沒有。只有在中日的史籍裏尋找資料，蟹狀雲氣中的超新星

之所以名爲中國超新星，就是因爲蟹狀雲氣的種種跡象，顯示它是一個超新星的遺骸，後來經過漢學家德文達克（ *Duyvendak* ）和天文學家奧特（ *Oört* ）等人的考證，果然在宋朝史書上找出它的來歷。過去兩三千年內，在銀河系裏比較近太陽的地區很可能還有別的超新星出現，要發掘這些銀海遺珠，我國（朝鮮和日本）豐富的天象記錄正是最好的資料。

超新星在天文上之重要不但在它本身，它爆炸後留下來的殘骸是很強的無線電波源，亦卽波霎（ *pulsar* ），又可能是宇宙線的泉源，若中子星（ *neutron star* ）眞正存在的話，那麽它又是中子星的母體。所以無論就那方面來說，能知道超新星爆炸的時期、性質、地點等，對現代天文科學的研究都有極大的價值。

【超新星式爆炸】（ Supernovae explosion ）

當一顆恆星的質量小於太陽質量的 1.4 倍，它的燃料燒完之後就收縮成白矮星（ *White dwarf* ）。如果質量大到太陽的 2 倍，那麽重力就會強到使原子完全崩潰而變成中子。在這個重力作用的過程裏，會釋放出非常巨大的能量，可能大到把這顆恆星外層的物質拋出太空，這叫做超新星式爆炸。剩下來的是一個由堆積得非常緊密的中子所構成的核心，直徑差不多有數哩。一吋立方的這種中子核心的重量有幾十億噸，此卽中子星（ *neutron star* ）。

【超電荷】（ Hypercharge ）

凡是能參與強交互作用的基本粒子我們有一個特殊的名稱，叫做強子（ *hadrons* ），可以將它們分成爲一組組的同位旋多重態〔當然，如果 $I=0$，則只是一個單重態（ *singlet* ）〕，各一個多重態內的粒子帶有不同的電荷。倘若我們在一個多重態內取電荷的平均值再乘以 2，我們就得到一個屬於整個多重態的量，以 Y 表示。我們稱 Y 爲超電荷。由這個平均的定義，以及前面對 I_3 的定義，我們很容易得出來

$$Q=\frac{1}{2}\ Y+I_3$$

這個公式稱爲卡魯瑟定理（*Carruthers' theorem*）。對某一個粒子來說，它的超電荷就是它所屬的同位旋多重態的超電荷。

圖 12—257 顯示核子（*nucleon*）與 π 介子（*π-meson*）的超電荷。由圖內很明確地可以看出，核子 *p*、*n* 的超電荷是 1，而 π 介子的超電荷是 0。

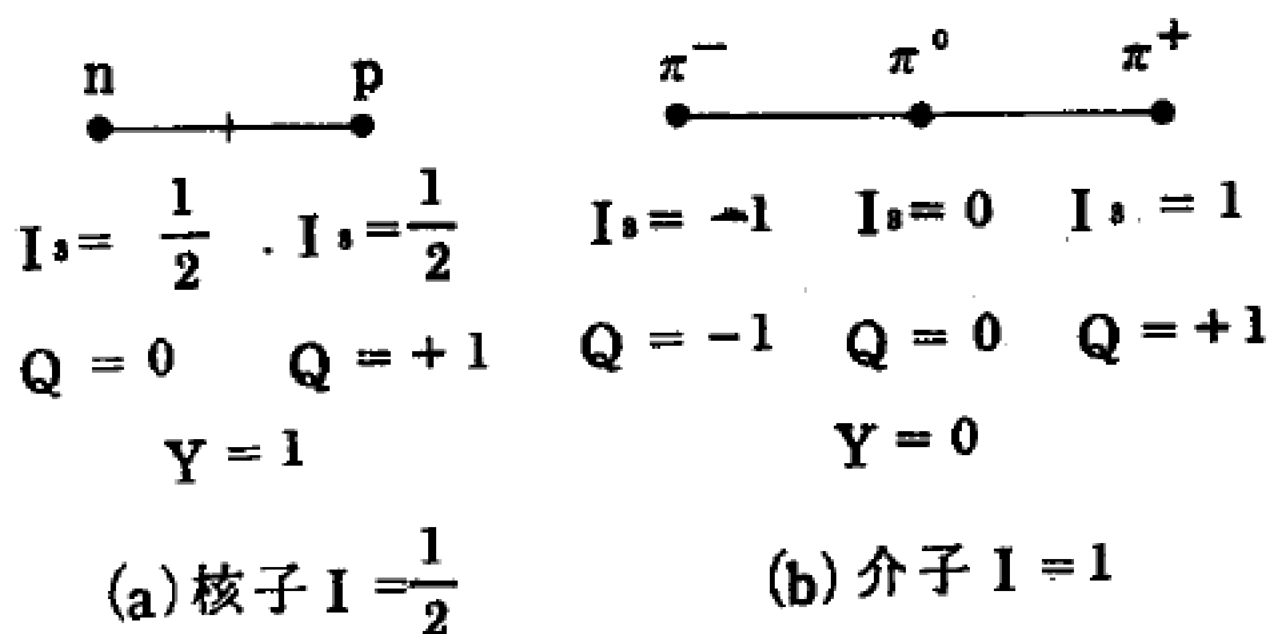


圖 12—257
核子與 π 介子的電荷中心以及其超電荷

由於超電荷是定義在同位旋的多重態上的，因此超電荷只是屬於強子的一個量子數，對其他基本粒子，超電荷沒有意義。

【超微量】（Ultramicroscale）

屬於極小量的操作。

【超精細結構】（Hyperfine structure）

當一干涉計（*interferometer*）要極高度地鑑別出典型原子光譜時，發現甚多之光譜線均包含若干分量。此等分量之間隔大小比精細結構光譜線者約小三個數量級。此類間隔非常緊密的分量即構成光譜線之超精細結構。彼等暗示原子能階有超精細分裂之存在。

超精細結構於 1891 年爲邁克生（*Michelson*）所發現。於 1924 年首先被庖立（*Pauli*）解釋爲原子核磁偶極矩（*magnetic dipole moment*）之取向位能在電子運動磁場中所生之結果。核子磁偶極矩（*nuclear magnetic dipole moment*）$\vec{\mu}_i$ 來自核子自旋角動量（*nuclear spin angular momentum*）$\vec{I}$。$\vec{I}$ 之大小及其 *z* 方向之分量爲依下列方程式而量子化者

$$I=\sqrt{i(i+1)}\,\hbar$$

$$I_z=m_i\,\hbar$$

此處　　　$m_i=-i\ ,-i+1\ ,\cdots,+i-1\ ,+i$

上式與電子自旋S之量子化方程式相同。無論如何，核子磁偶極矩與核子自轉之關係式為

$$\mu_i=\frac{g_i\mu_N}{\hbar}\ \vec{I}$$

$$\mu_{iz}=g_i\mu_N m_i$$

因子 g_i 其大小為 1 的數量級，但對某些核子為正，某些核子為負。量 μ_N 被稱為核磁子（ *nuclear magneton* ），其定義為

$$\mu_N\equiv\frac{e\hbar}{2Mc}=\frac{1}{1,836}\ \frac{e\hbar}{2mc}=\frac{1}{1,836}\ \mu_B$$

此處M為 ^1H 原子核之質量，m為電子之質量。由於核磁子μ_N 之大小較波爾磁子（ *Bohr magneton* ）μ_B 者小三個數量級，因而核磁矩較電子磁矩亦小相同之量。結果使核子磁矩之取向位能（超精細結構）較原子磁矩之取向位能（精細結構）其大小差三級，因為這兩個磁矩都受約同樣大小的磁場。

核子磁偶極矩與原子磁場之相互作用，使核子自旋角動量之向量$\vec{I}$耦合於電子總角動量之向量$\vec{J}$，兩向量均進動（*precession*）於其合向量，即主要總角動量向量（*grand total angular momentum vector*）

$$\vec{F}=\vec{I}+\vec{J}$$

$\vec{I}$與$\vec{J}$之大小雖保持不變，但其在 z 方向上之分量則不一定不變。結果，當考慮超精細結構之相互作用時，m_i 和m_j 均不為最佳量子數。無論如何，$\vec{F}$之大小及 z 方向之分量滿足下列方程式

$$F=\sqrt{f(f+1)}\,\hbar$$

$$F_z=m_f\,\hbar$$

此處　　$m_f=-f\ ,-f+1\ ,\cdots,+f-1\ ,+f$

此爲最佳量子數可用它們來表明量子態及其能階。例如，在原子總能量中其發生能階超精細分裂之那一項可書寫爲

$$\overline{\Delta E_{f \cdot J}} = K\,[\,f\,(\,f+1\,) - j\,(\,j+1\,) - i\,(\,i+1\,)\,] \qquad (1)$$

（1）式乃由於計算核子磁矩在原子磁場中之取向位能而得，此與 $\vec{I} \cdot \vec{J}$ 之期待值成比例。

$\overline{\Delta E_{f \cdot J}}$ 依量子數 f 而改變其值。至於 f 之可能值共有 $2i+1$ 個（除非當 $i > j$ 時將有 $2j+1$ 個值）。所以能階一般皆由 $2i+1$ 個分量之超精細結構所組成。結果，用以規定一原子核自旋大小之量子數，可簡單地測量一原子之超精細結構光譜，並分析此光譜成一能階圖，然後計算能階之超精細結構之分量數目，而加以決定。我們發現當原子量 A 爲偶數時，其量子數 i 爲整數（0，1，2，…），當原子序數 Z 亦恰爲偶數時則 $i=0$；當原子量 A 爲奇數時，其量子數 i 爲整數之半（$\frac{1}{2}$，$\frac{3}{2}$，$\frac{5}{2}$，…）。

（1）式中之 K 值隨核子所受磁場及核子磁矩而變。如果哈吹（*Hartree*）所描述之原子中電子之運動之本徵函數（*proper function*）可資利用的話，則磁場之計算可精確到約百分之十。於是，在此精確程度內，量度而來之 $\overline{\Delta E_{f \cdot J}}$ 值可用以求核子磁偶極矩之大小及符號。如上所述，我們發現對所有核子其磁偶極矩向量之大小，其數量級約爲一核磁子（即 $|g_i| \sim 1$），但此向量在某些原子核內與核子自旋向量方向相平行，而在其他原子核內則與反向平行（即 g_i 爲＋或－）。

超精細結構之量度，使我們獲得產生光譜之原子其核內電四極矩（*electric quadrupole moment*）Q 之資料。此 Q 指出核子電荷異於球形對稱（*spherical symmetry*）之程度。在所有情況中，電荷之分佈乃呈一橢圓體其對稱軸爲核子自旋角動量向量進動所繞之方向；當 $Q>0$ 時橢圓體向軸之方向延伸，當 $Q<0$ 時沿軸之方向趨於扁平，致 $Q=0$ 時電荷始呈球形對稱之分佈。對於 $Q \neq 0$，核子在原子磁場中（非球

形對稱）將具有取向位能。在典型情況中，此能量之大小與核子磁偶極矩在原子磁場中之取向位能之大小相當。然而，原子核在原子中取向情形之量子數對能量之關係，在電四極作用與磁偶作用中是各不相同的，故此二種效應可用實驗方式加以分離。當電四極子（*electric quadrupole*）作用出現時，能階之超精細分裂觀察出不合於（1）式所預測者，其式僅適於處理磁偶極子作用。由於對這種不合是多大多小的分析，以及從哈吹本徵函數中計算出核子所受之原子電場，可求得若干核子內之電四極矩之符號及近似大小。當 $i=0$ 或 $i=\frac{1}{2}$ 時對所有核子而言發現其 $Q=0$ 此可從對稱考慮上加以瞭解。舉例言之，當 $i=0$ 時，對測量電四極矩所需之對稱軸無法加以確定。當 $i\geq 1$ 時，Q 常可測出其值不爲零，並通常得 $Q>0$ 之結果。^{71}Lu 原子之核具有已知之最大四極矩。在 ^{71}Lu 原子核中其電荷之分佈沿對稱軸方向延伸，其橢圓體之長軸與其短軸之比爲 1.20 ± 0.05。

從超精細結構之分析以量測核子磁偶極矩，其技術精確度將受到限制，因其須依賴於原子磁場強度計算之故。自1933年以來，雷比（*Rabi*）和其他科學家發展出數種不同之技術均具極端精確性。這些技術均牽涉到測量一已知強度外加磁場中偶極子之取向位能。對於原子中其電子所產生之總磁偶極矩爲零者（原子在 $^{1}S_{0}$ 狀態），可以將原子束送入類似史特恩和革拉克（*Stern and Gerlach*）所用之設備中以量測其核子磁偶極矩。在其他情況下，核子磁矩在外加磁場中之能量，可以察知，只須使外加磁場較原子磁場爲強，而將 $\vec{I}$ 與 $\vec{J}$ 之耦合加以破壞卽可。測量磁矩之最精確技術，非依據於原子束之彎曲，而是依據於無線電頻率量子之能量，此量子是在已知外加磁場中作超精細分裂之能階間躍遷得來的，這種量度以及其所依賴之量子力學基礎，形成一極具興趣之題目。

【超熱能中子】（Epithermal neutron）

詳閱“中速中子(*Intermediate neutron* ; *Epithermal neutron*)”條。

【超導性】(Superconductivity)

在接近絕對零度時，某些物質會因低溫失去磁導率和電阻性。1911年荷蘭物理學家翁奈士(*Kamerlingh Onnes*)發現在4.1°*K*時，水銀突然失去電阻性。約有二十六種純物質和許多合金及金屬化合物具有這種超導性。超導性在20°*K* 以下才會出現，轉變溫度最低的是鎢(*W* , 0.01°*K*)，最高的是錫化鈮(Nb_3Sn, 18.05°*K*)。兩種非超導物質的化合物，有的卻會有超導性，如鉍化金(Au_2Bi)，這說明超導現象不是原子的性質，而是物質中自由電子影響所致。

當物質呈超導性時，它會排斥所有的磁場，如磁棒落入一超導性金屬碟中，它將被自己在碟中的“磁像”反排斥，而懸浮於碟面上。

超導性金屬的原來電阻可以藉外加於其上的磁場或通過其上的電流超過某一臨界值而予恢復。此臨界磁場與臨界電流隨溫度和金屬種類而異。當兩種載有電流的不同超導性金屬絕緣線交叉時，可能其中一線就會受另一線電流所生磁場(此線仍保持超導性)影響而失去超導性。

最近發現適當的處理某些合金(如鈮- 錫合金)，可在很強的磁場和高電流密度下仍保持其超導性。這些損耗為零的金屬所製的螺線管(在液態氦中操作)可用以產生大於10^6厄司特的強磁場。

除鐵磁性具有高度內磁場的金屬外，我們相信任何金屬都有正常及超導二態；二態之選擇視溫度與磁場而定，不同的金屬各有不同的轉變條件。超導性的由來需用量子多體論才能解釋，簡單的說法是金屬內的價電子，凡有自旋與動量其量相等而方向相反，就可藉離子點陣的振動而組成電子偶；由電子偶組成的電子氣，是為超流體，沒有黏滯性，運動時不摩擦生熱，亦無電阻。

超導電性金屬內電子的合作方式為，當電子運行穿過晶體時，對於

途中原子的影響，會使另一電子更易隨其途徑而行，當其他電子沿其途徑而行時，又影響而使更多電子沿此路徑運行，其結果遂使一大群電子在晶體內某些特別的路徑上運行，這些電子有如在一溝渠中滾行的彈珠，除非有足夠能量將其擧出溝外，它們將永留於溝內，因此除非另有能量將其擧出溝外，這些電子將不致被散射，沒有散射就沒有電阻，這些電子遂是理想的超導體（ *superconductors* ）。超導性的神奇處是那些溝渠是由電子本身所作成的。這是一項由於電子相互幫助以造成一條路徑的合作方式。

至於電子究以何種方式在晶體內製造這種途徑，至今仍是一個未能十分清楚的問題。可能是由於這些電子將原子稍稍推開而使其易於穿越（圖 12 — 258）。如在(*b*)圖中的電子途徑，因電子位置略有偏移，不如(*a*)圖中的途徑彎曲，因此(*b*)圖爲電子較易行走的途徑。這條路徑自會被熱振動所干擾，當原子的振動足夠時，電子即會被趕出溝中，而途徑亦很快會消失。

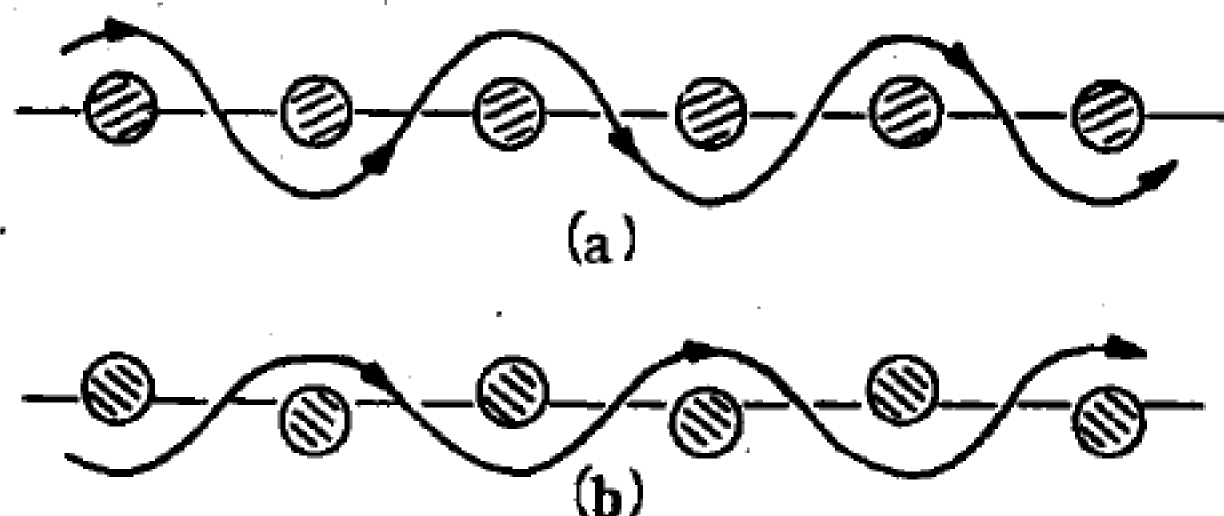


圖 12— 258

電子也很可能是以其他方法組成其路徑的。設若電子經過原子時，能使原子內的一些電子向某一方向轉動，於是當這些電子旋轉以後，其他的電子將更易於沿同一途徑進行。這種合作作用略似於引起鐵磁性的合作情形，當金屬加熱時，原子的振動可將電子散射，這路徑遂不能維持，沿途原子內的電子，將再度作無規則的繞行，而這物質亦不再具有超導性。釩(*V*)的超導電性即可能由這種原因所致。這些超導性產生的細節情形，至今仍是一個未能完全瞭解的問題。

【超導磁鐵】(Superconductivity magnet)

在超導體（ *superconductors* ）內沒有電阻和焦耳耗能，因此一旦

送入電流，此電流就可以一直存在，其所產生的磁場也能在不耗電熱功的情況下永遠保持。因此有一種電磁鐵用超導體做螺線圈，這種磁鐵稱爲超導磁鐵。不過當電流太大時，磁場亦因而過大。如超過該超導體的臨界磁場時，超導體就變成平常導體，此磁鐵也就不再具有原來的優點了。雖然如此，現在所能做到的超導磁鐵，磁場都夠強了。

【超導體】(Superconductors)

通常在30°K以下，許多金屬、合金、複合物都會突然變成沒有電阻的狀態，一旦電流通入這種物質，就不會消耗掉。如果將它放在磁場中，在其內部完全沒有磁場，在這種狀態下的物質稱爲超導體。這些超導體，抗磁的現象與溫度、磁場有關。如果溫度或磁場超過一臨界值時，超導體即回復爲平常導體。而溫度和磁場的臨界值也是彼此相關的函數，超導現象可用傳導電子構成一微弱偶對的理論來解釋，這就是 *B.C.S.* 理論。

超導體有軟硬兩類，第一類超導體是軟超導體，具有完全抗磁的性質，相對地臨界溫度和臨界磁場都很低。第二類超導體只有在相當低的磁場中才有完全的抗磁性，當磁場達到某值後，即只有部分抗磁性，到磁場相當大時，這些抗磁性才逐漸消失，因此在某種意義上，這一段中間狀態，可以說是平常導體和超導體的混合狀態，性質的轉變也是逐漸連續地發生。硬超導體是第二類超導體經機械處理製得，除原有第二類超導體性質外，並具有極大的磁滯 (*magnetic hysteresis*)。

超導體的成因，據科學家巴爾定 (*John Bardeen*) 的解釋，當溫度降到“過渡點”以下時，導體內的電子會變得成雙成對的振動。一對中的某一電子向另一電子碰撞時，這另一電子就會反跳來抵銷碰撞的效果。這樣，電子的流動就不會受到阻礙，這就是說電子可以在不跳躍的狀況下平靜而有秩序地流動，亦即沒有電阻作用的產生。超導體既無電阻，且又是反磁性 (*diamagnetism*) 的，即在某種程度下不能透過磁

力線。反磁性是完全反射磁場力線的特性。超導體實際上成爲反射磁性的鏡子（*mirror*）。利用超導體製成了磁軸承（*bearing*），幾乎全無摩擦。在超導體的線圈中加上電流，將超導體的軸承懸於其上，磁力線會持續存在不已，切斷線圈的電流以後，仍舊如此。超導體軸承因排斥磁力而懸空在線圈上面，等於在眞空中運轉，連空氣的阻力也可消除。因此可用以改進羅經的廻轉器（*gyroscope*）；也可改進電子顯微鏡的磁透鏡而作更細微的集焦，得以攝取原子的構造。

在元素週期表中 *Ti*（0.53°K）、*V*（5.1°K）、*Zn*（0.91°K）、*Ga*（1.10°K）、*Zr*（0.70°K）、*Nb*（8°K）、*Ru*（0.47°K）、*Cd*（0.56°K）、*In*（3.37°K）、*Sn*（3.730°K）、*La*（4.37°K）、*Hf*（0.35°K）、*Ta*（4.4°K）、*Re*（1.0°K）、*Os*（0.71°K）、*Hg*（4.152°K）、*Te*（2.38°K）、*Pb*（7.22°K）、*Th*（1.39°K）、*U*（0.8°K）等均爲超導體，其括號中者爲超導性臨界溫度。根據實驗結果，*I A* 或 *I B* 中的元素，在目前作到的低溫下，尙無一種有超導性出現。總加起來我們可以說，這些金屬應具有某種共同的特點，亦卽它們根本不會發生超導作用。實驗對象除了各種金屬元素之外，並包括合金及其他金屬元素的化合物。在超導性的合金和化合物中，它們所含的成分金屬有的都是超導體，有的只有一種是超導體，有的甚至統統不是超導體。例如 Au_2Bi，我們知道金（*Au*）和鉍（*Bi*）都不是超導體，但此種化合物在 1.7°K 時卻會有超導性出現。

上述觀念的形成，主要應歸功於兩位傑出的物理學家傅略利希（*Herbert Fröhlich*）與巴爾定（*John Bardeen*）。對這些新觀念首先要追問的是，它能否導致量的結果？它對超導性的推論是否與實驗相符？傅略利希第一次宣佈他的觀念時，曾提出兩項推論，大致說來，這兩項推論到目前仍然是正確的。第一，原子的零點振動強烈的影響傳導電子的行爲；若作用相當劇烈，便能引起超導性。他認爲此種相互作用之

強度或耦合（ *coupling* ），跟電子與原子熱振動間的交互作用強度大約相等。常溫下金屬的電阻既與原子熱振動所散射的電子強度有關，則電子間相互作用及熱振動越大，其正常電阻就越大。因此，傅略利希理論認爲只有在常溫時電阻相當高的金屬，在極低溫度下才可能呈現超導性；也就是說，只有熱振動與電子間之耦合或相互作用很強的金屬，才可能成爲超導體。

此項推論大體來說已經證實了。在 *I A* 或 *I B* 族金屬中（包括銅、銀、金、鈉、鉀等），沒有一種有超導性，但常溫時都是良導體。起初，這種現象大家都視之爲怪事；因爲常溫時既是良導體，低溫下更可能是超導體了。現在我們已經看出來，事實上正好與理論上的想法相反。因良導體的原子熱振動及其傳導電子的相互作用很小，故根據傅略利希的說法，其零點振動與電子間的相互作用亦必很小，結果無法強烈的“左右”電子以成超導體。

傅略利希理論的另一推論是關於溫度增加對超導體的影響。假定我們有一塊金屬，其電子及零點振動之耦合甚強（足夠成爲超導體），如從絕對零度起開始加熱，則由於原子熱振動之增加，遲早會破壞超導性耦合，因此電阻應在某一溫度時重現，這跟實驗結果正相符合。

最後我們不要忘記，磁場對載有電流的金屬有作用力；換句話說，磁場與傳導電子間有耦合或相互作用存在。如使一強磁場作用於超導體，電子與原子零點振動間之耦合應會受到干擾；因此，強磁場也能消除超導性並恢復電阻。這一點跟實驗結果符合。由此推論下去，任何合適的熱振動（即增高溫度）與一磁場配合起來均可破壞超導性。這也確是我們在實驗時發現的情形。例如，金屬鉛在絕對零度時約需 800 高斯的磁場，才能消滅其超導性；$4.2°K$（氦之沸點）時，約須540高斯；而在 $7°K$ 時，只要 40 高斯便足以產生電阻。在 $7.2°K$ 左右，熱振動本身便夠了，溫度再高，鉛的電阻便恢復正常了。

過去這幾年，人們做了很多理論方面的工作，最出色的是巴爾定及其同事們。雖然還有很多有待進一步研究，但大體來說，物理學家們對於超導性已相當瞭解了。例如，傅略利希的觀念，儘管可以解說何以某些族的金屬可以成爲超導體，而其他的則否，但若由此即以爲我們能肯定的推斷某些化合物或合金能成爲超導體，就未免失之操切了。若想更進一步推廣超導體的應用，則發現一些能在較高溫下保有超導性的物質是很有幫助的。鈮爲保有超導性元素中溫度最高者，但也不過絕對零上約 9°(即大約 − 264°C)而已！利用化合物則可在相當高的溫度保有超導性。就目前所知，一種鈮與錫之化合物（Nb_3Sn)在 18°K時仍可維持其超導性。利用此種化合物的超導性質，我們就無須勞動液態氦的大駕了，液態氫就行了。氫在一大氣壓下的沸點約 20°K，再將蒸氣抽掉可以使溫度下降至 14°K（氫的凝點）左右。但如能製造一種在 80°K時仍有超導性之化合物那該多好！因如此一來只要有液態空氣的供應就行了（液體空氣的沸點也在 80°K左右）。

下表列出一部分超導體的性質：

	分子式	Tc (°K)	$Hc(O)$ (高斯)	$Hc_2(O)$ (仟高斯)
鎘 *cadmium*	Cd	0.56	30	—
鋁 *aluminum*	Al	1.19	99	—
銦 *indium*	In	3.41	283	—
錫 *tin*	Sn	3.72	306	—
水銀 *mercury*	Hg	4.15	410	—
鉛 *lead*	Pb	7.18	803	—
鈮 *niobium*	Nb	9.46	1,945	—
鉛-鉍 *lead-bismuth*	Pb-Bi	8.8	—	15

鈮 - 鋯 25 % *niobium* - 25 % *zirconium*	*Nb - Zr*	10.8	—	65
鈮 - 鈦 33% *niobium* - 33 % *titanium*	*Nb - Ti*	9.3	—	120
釩 - 鎵 *vanadium* - *gallium*	V_3Ga	14.5	—	300 ?
鈮 - 錫 *niobium- tin*	Nb_3Sn	18.2	—	200 ?

一部分超導合金也列在表中，它們已被證明能夠在失去超導性質之前經得住較高的磁場，因它們不抗拒具有高能量的磁場而讓磁場完全通過。因爲它們的性質也不同於傳統的超導體，因此被稱爲第Ⅱ型的超導體（*type* Ⅱ *superconductors*）。在第Ⅱ型中，從超導體至普通正常狀態的相之變化不是突然發生，而是漸漸變成的，並且材料也經過了一段所謂混合的狀態。在低於 *Tc* 的任何溫度，混合狀態通常從少數幾百萬高斯開始（那時磁場最先開始穿透），再擴展至一較高的臨界磁場，記做 Hc_2，它表示超導性質(圖12—259)的上限。如表所示，在 0°*K*，Hc_2 能到達很高的數值，有些甚至磁場已超過 100,000 高斯，Hc_2 仍未能確定。

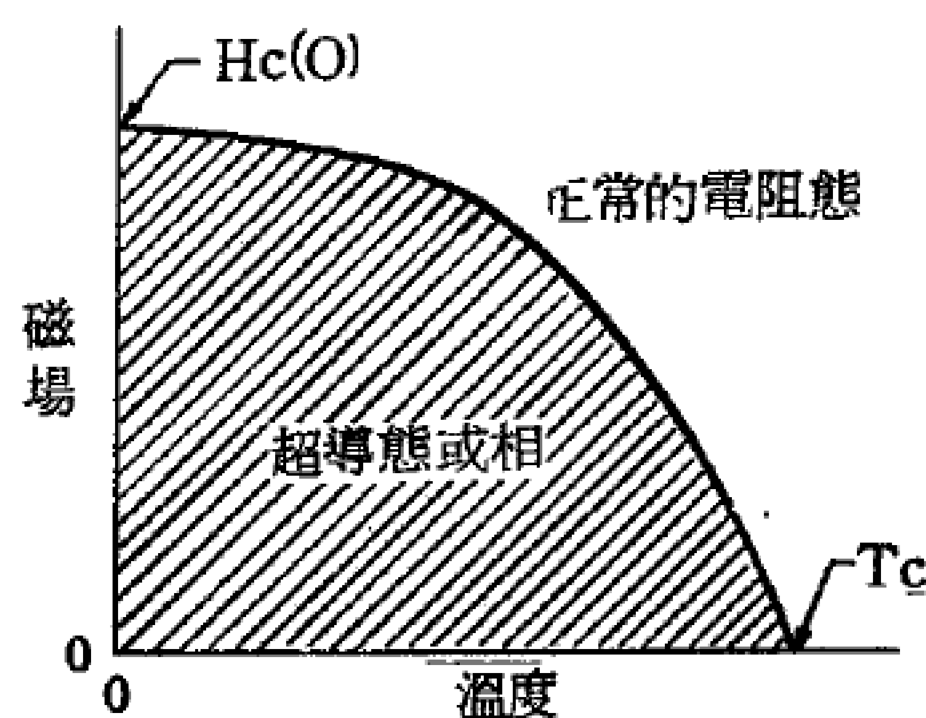


圖 12 — 259
超導體的圖示。超導性會因過高的溫度和過強的磁場而遭致破壞，在抛物線下的斜線部分表示出超導性質所能夠存在的溫度和磁場強度。

儲藏在超導體磁場裏的能量密度爲

$$E = B^2/8\pi \text{ 焦耳／米}^3$$

因此 100,000 厄司特（*oersted*）的磁鐵，在 20 立方米的體積裏能夠儲存 10^9 焦耳的能量。這當然比用電容器要好得多，但是比氫氧液體燃料的效率要低 30 倍左右。不過用它來儲能有二個最大的好處：

1. 儲藏能量時不使容器加重。

2.它已經以能量的狀態存在，可以隨時取用，而普通燃料則要有一段燃燒的時間。

這二優點，在太空航行中尤其重要，故利用超導體儲藏能量的應用，愈趨廣泛。

【超導體B.C.S.理論】（B.C.S. theory of superconductivity）

此理論是由巴爾定（*J. Bardeen*）、古柏（*L.N. Cooper*）及施萊佛（*J.K. Schrieffer*）共同提出，故取三人姓氏之字首爲名，稱超導體B.C.S.理論。

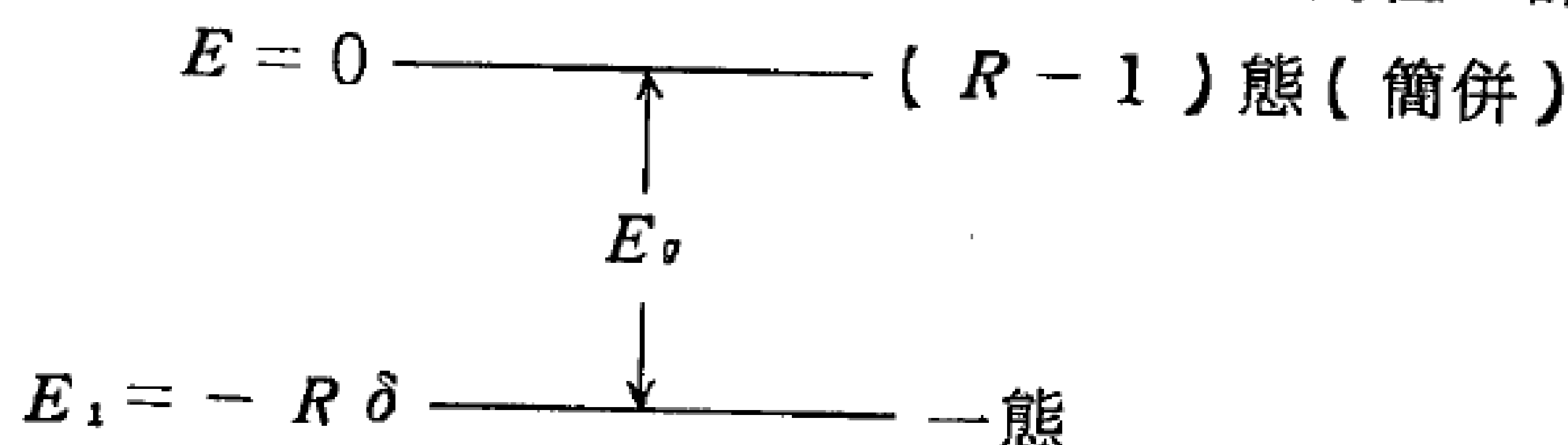
假設一群電子在超導狀態時之量子態是由一對對的電子對所構成，即當有一電子在$\vec{K}\uparrow$態時，必有另一電子在$-\vec{K}\downarrow$態。$\vec{K}$爲波向量，箭號↑是表示電子自旋的方向。

電子之間互相作用的位能可以$u=\sum_{n,m}U(\vec{r}_m-\vec{r}_n)$表示。在超導體中，一電子與晶格作用而使後者變形。第二個電子受變形晶格的影響，調整它的狀態以降低總體的能量。如此等於是電子與電子經由晶格作媒介而互相作用，整個效果使$U(\vec{r}_m-\vec{r}_n)$變成負數，亦即電子與電子之間呈一種相互吸引的狀態。

如果用$\phi_s=\vec{K}_1\uparrow;-\vec{K}_1\downarrow;\vec{K}_2\uparrow;-\vec{K}_2\downarrow;$表示整群電子互不作用狀態。除了電子對的假設外，再假定$U(\vec{r}_m-\vec{r}_n)$是極端局部的作用，我們即可獲得下面的結果：

$$\langle w|u|s\rangle=\langle x|u|y\rangle=-\delta$$

式中$|w\rangle$，$|s\rangle$，$|x\rangle$，$|y\rangle$是簡併系統中的任一群電子態。



由此結果，利用第一級微擾理論，可知由於u的微擾，這些簡併系

統會分成兩部分，一部分能量低於另一部 $R\delta$ 而只含一態，R 是沒有微擾前的簡併度，另外 $R-1$ 態仍是簡併態而且能量不變。

由上可知，由於電子－晶格－電子相互作用的結果，產生一特別低的能態，稱爲 B.C.S. 基態。這基態和最低受激態間相差有限的能隙 $E_g = -R\delta$ 。在非超導狀態下，一群自由電子的基態充滿在費米球（*Fermi sphere*）中，我們可以從任意接近球面之處取一電子到球外，而造成一受激態，此受激態與基態的能量差可以無限小；但是在超導狀態中，此能量差是有限的，這便是兩者最大的差別。

爲解釋超導狀態中永久電流穩定的原因，我們考慮一質量爲 M 的不純晶體，它以 $\vec{v}$ 之速度相對於電子氣運動，假使相對運動產生能量 λ_k 及動量 $\hbar\vec{k}$ 的激發，則由能量及動量守恆定律，可得

$$\frac{1}{2}M\vec{v}^2 = \frac{1}{2}M\vec{v}'^2 + \lambda_k$$

$$M\vec{v} = M\vec{v}' + \hbar\vec{k}$$

消去 $\vec{v}'$ 得

$$-\hbar\vec{k}\cdot\vec{v} + \frac{\hbar^2 k^2}{2M} + \lambda_k = 0$$

當 $M\to\infty$，可忽略第二項，由 $\lambda_k = \hbar\vec{k}\cdot\vec{v}$ ，可知 v 的最低值 v_c 爲

$$v_c = min\left(\frac{\lambda_k}{\hbar k}\right)$$

如果有能隙，λ_k 必大於零，所以 $v_c > 0$。因此超導電流可以小於 v_c 的速度流動，而不會因與晶體的作用引起能量的消耗，這是永久電流存在的原因。

超導體的熱和電磁特性以及臨界磁場、侖敦滲入深度、皮帕德（*Pippard*）同調長度都是 B.C.S. 基態與有限的能隙所導出的結果。

至於一晶體是否會有超導性以及臨界溫度的大小，則由在費米能階（*Fermi level*）的能階密度 $D(EF)$ 和電子一晶體作用能量 U 所決

定；在$UD(EF)\ll 1$像時，B.C.S.理論預測

$$Tc = 1.14\ \Theta\ exp[-1/UD(EF)]$$

式中Θ是德拜溫度(*Debye temperature*)，Tc是轉變溫度。

【超導體轉變溫度】(**Transition temperature, superconductors**)

當溫度逐漸降低，接近於0°K時，很多金屬的直流電阻會突然變爲零。這時如果有一電流在用這種物質做成的環中流動，電流會經過一段很長的時間而不致衰減，這種現象稱爲超導現象。從普通導體變爲超導體時的溫度就稱爲超導體轉變溫度。多數的超導體轉變溫度都在液態氦溫度附近，但有些合金的超導體轉變溫度則高達20°K，例如$Nb_3Al(0.8)Ge(0.2)$。

【超壓力】(**Overpressure**)

核爆炸時，由震波所引起的一種大於大氣壓力的短暫壓力。

【超聲波】(**Ultrasonic wave；Supersonic wave**)

即超音波。

參閱“超音波(*Ultrasonic wave；Supersonic wave*)”條。

【超聲波衰減】(**Ultrasonic attenuation**)

當超聲波通過金屬時，使晶格振動而產生聲子。聲子與金屬中電子的作用會改變電子的分佈，因而產生電場。就如同電磁波能在金屬中產生電場以加速電子一樣，由於這種作用，超聲波將本身的能量給予金屬而逐漸衰減，這種現象即稱之爲超聲波衰減。這現象多用於以磁聲方法測量金屬的費米曲面。

【超聲速流動、亞聲速流動、跨聲速流動及過聲速流動】(**Supersonic flow, subsonic flow, transonic flow & hypersonic flow**)

低速氣流隨著速度變化而產生的壓力變化較小，故可免計密度而視

作不可壓縮流體。與此相反，若氣體速度 q 超過傳播其中的聲速 c 的數分之一，則這種近似不成立。不能免計可壓縮的流動稱爲高速氣流。高速氣流以馬赫數（*Mach number*）$M=q/c$ 來分類。$M<1$ 的流動，卽比聲速慢的流動，稱爲亞聲速流動；$M>1$ 的流動，卽比聲速快的流動，稱爲超聲速流動，又在流動中亞聲速流動領域和超聲速流動領域共存時，稱爲跨聲速流動。

流動的基本方程式包含尤拉方程式（*Euler's equation*），連續性方程式和物態方程。通常亞聲速流動在性質上與不可壓縮流動大約相同，但超聲速流動則迥然不同，這是因爲基本方程式在$M<1$時爲橢圓型，在$M<1$時爲雙曲線型所致。

在均勻的流動中放一物體，並使馬赫數M逐漸增加，當$M>5$時，卽流動比聲速非常快時，稱爲過聲速流動，此時由於邊界層的黏性，動能的消耗甚大，因而發熱。

【超聲學】（Ultrasonics）

是聲學的一支，專門研究頻率高於感覺底限，卽高於15 仟週的聲學現象。頻率在 15仟週以上的聲波稱爲超聲波或超音波。超聲波可使液體產生局部空洞（*cavitation*），可使小微粒附著於較大的堆積物上，能使一種物質在另一種物質內形成懸浮液或乳劑；此外它還有在光和熱方面的有趣現象。在一般應用上，超聲波常用於鐘錶、零件及衣料等的除垢，並用以探測不透明材料內的裂縫和瑕疵。航海時則可用以探測冰山的動向。

【超臨界反應器】（Supercritical reactor）

增殖因數（*multiplication factor*）大於1的反應器，它的功率階一直上升，如果沒有加以控制，一座超臨界反應器將會引起動力脫韁（*excursion*）。

【超臨界質量】（Supercritical mass）

有效增殖因數大於 1 的燃料質量。

【超額中子】(Neutron excess)

比較從原子建立分子的化學反應和從核子建造組成核的熔合反應，可發現一些相同和相異的特點。最重要的共同點是建造某種分子和核的過程中，兩種方式都釋放能量。另一方面，在蛻變成另一種分子和另一種核的過程中情形也一樣。它的不同點是用以合成化學化合物的元素積木約只有 90 個，而組成分子的可能組合則不計其數，至於核子則只有 2 個，構成原子核的可能組合則只有一千多個。如以符號 p 和 n 分別代表質子和中子兩種核子，再用 Z 代表原子序數和 A 代表質量數，任一種核的組成可用一種化學公式

$$p_Z\,n_{A-Z}$$

代表，此處 Z 的範圍在 1 和 100之間，而 $A-Z$ 則在 1 和大約 150 間。

當然一切可能的 Z 值和一切可能的 $A-Z$ 值組合，可有 $100\times150=15{,}000$ 種不同的原子核。但經驗告訴我們 A 和 Z 在建造原子核時是不能任意彼此獨立選擇的，凡能存在的原子核間，質子和中子數目都維持某一種平衡狀態。在較輕元素中那些同位素最爲穩定，其間質子和中子數目相等。因此，例如氧的主要同位素中有 8 個質子和 8 個中子，在自然界的混合物中一直最爲豐富；至於另二個較重的同位素，8 個質子之外有 9 或 10 個中子，在天然存在的氧中總量還不到百分之 0.25 。其他一些氧的同位素多過 10 個或少於 8 個中子者也都不穩定，所以並不在自然界中存在。如經人工製造出來，即在短時間內經放射蛻變而衰變。如核內中子很多，蛻變時即爲負貝他衰變，包含有一個中子轉變成一個質子和一個電子，而後者即自核中射出，因此它本身變成次一較高原子序數元素的核。如剛巧相反，核內中子太少時就發生正貝他衰變，其間一個質子轉變成一個中子和一個正子。後者射出後，餘下的是次低原子序數元素的核。

核子中兩種組元的安排比例，都有一種自然趨勢使質子和中子間的數目能建立起適當的平衡。輕元素的平衡是靠兩種組元數目的相同，而中子及高序數的原子則情形並不如此。元素愈重，它需要建立穩定核的多餘中子數愈多。例如金元素只有一種同位素 $^{197}_{79}Au$ 是穩定的，有 79 個質子和 197 － 79 ＝ 118 個中子。中子和質子間數目之差爲

$$(A-Z)-Z=A-2Z$$

稱爲超額中子。氦、碳、氮和氧等的主要同位素的超額中子爲零，原子序數較高則超額中子數也提高。下表資料中某些元素以同位素最多稱勝。

某些元素主要同位素的超額中子

符號	元素	數目		超額中子	超額百分比
		質子（Z）	中子（$A-Z$）	（$A-2Z$）	$100\times\frac{A-2Z}{Z}$
O	氧	8	8	0	0
Co	鈷	27	32	5	18.5
Rh	銠	45	58	13	28.9
Cs	銫	55	78	23	41.8
Au	金	79	118	39	49.4
Bi	鉍	83	126	43	51.8
U	鈾	92	146	54	58.7

原子序數增高必須要更大的超額中子的原因，可認爲是中子有結固質子的作用，而質子本身因帶有正電荷，一旦壓縮在極小體積的核中便互相激烈排斥。雖然我們對核內部作用力的知識仍不完全，需要投資巨大的宇宙加速器以探求更深的知識，但我們有理由相信質子間互相排斥的靜電推斥力正爲另一種迄今特性仍不清楚的吸引力所抵銷。這種吸引力不像重力和電力跟它們之間的距離平方成反比，而依更高的指數成反

比。它們之間的距離大於 10^{-11} 厘米時並沒有甚麽特殊現象，但在某些較小的範圍內，吸引力因距離縮短而急速增加，所以能把核子緊緊套牢。在極小範圍內的強大核吸引力似乎在質子和中子間；質子和質子以及中子和中子之間發生了相互作用（ *interaction* ）。我們也靠這種力量才有氫以外一切元素的存在。

除 ^1_1H 和 ^3_2He 外，穩定核都不能保持多餘的質子。因爲質子一多，它們之間的推斥力大過中子間的聚合力，因此會破壞核構造。但在另一方面，何以核內中子過多時仍不穩定則不能引用這種基本解釋加以說明。

【軸】（ Axis ； Shaft ）

（一） *Axis*

1. 以零點爲中心，所晝之兩垂直線。

2. 通過球心和鏡面中點的直線，叫做軸。

3. 穿過物體的實線或虛線，物體可依此線旋轉。例如地球的軸爲穿過南北兩極的虛線。

4. 參考線，經過物體的中心，或他旋轉部分的中心。由此線而發生旋轉或振搖的動作。

（二） *Shaft*

指發電機或電動機的鋼軸。

【軸向量】（ Axial vectors ）

凡是和（極）向量的叉乘積有同樣性質的向量，其量的表現往往是呈現在一個平面上而不是呈現在一直線上；因此這種向量的方向，是被定爲垂直於此平面的軸（ *axis* ）上。我們對於這一種類的向量稱之爲軸向量。又稱爲準向量（ *pseudo vector* ）。軸向量的各分量，實際上是一三維反對稱二階張量的元素。

【軸線】（ Axis ）

通過球心和鏡面中點的直線，叫做軸線，簡稱軸。

參閱"球面鏡（*Spherical mirror*）"條。

【軸線相疊測驗】（Squaring-on test）

一望遠鏡之光學性能會因受望遠鏡管內不正確裝置的影響而損傷；例如彗形像差及像散性均可能因*O.G.*之光軸不與管軸成為一共線（*collinear*）所致。校正此缺點之儀器如圖12—260所示，乃由一管*T*（此管妥為裝置於望遠鏡的目鏡管中），一光滑斜平板*P*及一針孔*H*所組成。若此儀器安裝在望遠鏡目鏡管中斜平板上，則以擴散之光源照明之，照明之平板的虛像（為一光環帶形狀）將在管之另一端反射在物鏡不同表面上而看見。因許多物鏡之四分之一半徑往往甚長（且有時平坦），由此表面反射之物像呈現與物標相同大小，若正合規準則如圖12—261(*a*)所示之形狀。若物像不合規準則呈圖12—261(*b*)之形狀。傾斜此透鏡可恢復(*a*)之形狀。有此穩妥之條件，由另一透鏡表面發出之虛像亦可求得，但十分微小（乃因由相當陡峭之凹或凸表面所產生），且若透鏡組合均適在中心處，則物像應全部集中如圖12—261(*c*)所示。

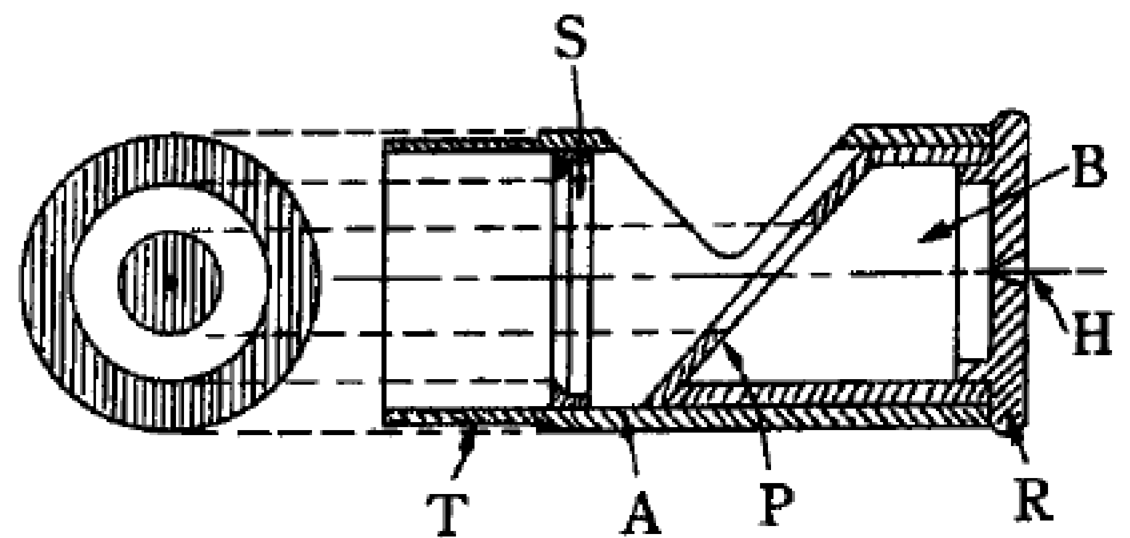


圖12—260　規準目鏡

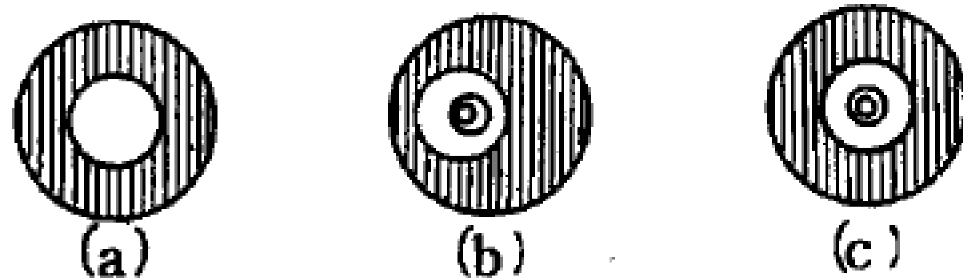


圖12—261
軸線相疊測驗所呈之現象

【週】（Cycle）

這是交流週期的過程，在一週期中所經歷全部狀態的序列。振盪頻率是一秒鐘內所發生的週數。在高頻情況下，用每秒仟週或每秒兆週來表示頻率，頻率的單位亦有採用專門名稱即赫玆。

【週期】（Period）

在一系列有規則的重複事件中，其一個循環周而復始所需的時間稱為週期。用之於核反應器，則意指使其功率階改變2.718倍，即等於自然對數的基數 e 所需的時間。週期亦可表進行振盪的系統經過全部中間狀態而回復到原始狀態所經歷的時間。週期是振盪頻率 f 的倒數：$T=\frac{1}{f}$ 即週期（秒）$=\frac{1}{\text{頻率（週／秒）}}$。運動中的物體在相等時間區內，作重複的運動，稱為週期運動（*periodic motion*）。在週期運動中，運動質點的位移可用正弦和餘弦函數表之，故常又稱週期運動為諧振運動（*harmonic motion*）。

【週期光度曲線】（Period-luminosity curve）

簡稱週光曲線。1911 年黎艾特（*Leavitt*）研究大麥哲倫雲內變星時，發現變星之光度與週期有密切關係。此項關係旋由夏普萊博士（*Dr. Harlow Shapley*）發表。其關係在坐標紙上取絕對星等縱軸，橫軸為光變週期之日數或年數。如造父變星（*Cepheid variable*）乃按其要素，標示在適當位置上，結果獲得一平滑曲線；由此曲線而知變星變光週期與發光本領（光度）之關係，即光度愈強者變光之週期愈長，弱者愈短。此曲線名為週期光度曲線。

設 M 為絕對星等，m 為視星等，P 為實距離之視差，$\log P$ 為視差之對數，得下列關係式：

$$M=m+5+5\log P$$

或

$$\log P=\frac{M-m-5}{5}$$

上式可用以求恆星之距離，故此曲線有“量天尺”之稱。

【週期光度關係】（Period-luminosity relation）

簡稱週光關係。1911 年美國天文家黎艾特（*Henriett S. Leavitt*）在美國哈佛大學天文臺研究大麥哲倫雲內之造父變星，發現變星變光週期與光度有密切關係。後來由夏普萊博士（*Dr. Harlow Shap-*

ley）合作而寫下著名之週期光度定律（*period-luminosity law*）。

由上述之發現，設恆星（變星）之週期一經測定，則可計算出其絕對星等，進而計算其距離。

週期與光度關係之近似數值

週期（日）	光度（太陽爲一）
0.5	100
1.0	175
5.0	700
10.0	1,300
50.0	7,600

【週期波】（Periodic wave）

波紋呈週期性變化，即介質中每一質點按序作週期性運動者，稱爲週期波；否則爲非週期波。

【週期表】（Periodic table）

一排列著所有元素的表，由其漸增的原子序數依次排列，且周而復始地將物性和化性相似的元素組爲一群。此表是基於俄國化學家門得列夫（*Dmitri I. Mendeleiev*）在1869 年 提出的化學定律，元素的物性或化性是其原子量的週期函數。

【週期性過程】（Periodic process）

按一定的（相同的）時間間隔準確地不斷重複進行的過程。例如等幅振盪就是週期性過程。

【週期律及週期表】（Periodic law and periodic table）

元素依其物理、化學性質及原子序數作連續及週期性之變化，稱爲元素的週期律。利用週期律將元素依其原子序數排成橫列，經一週期後有性質類似之元素則排成縱行，稱爲週期表。

週期律爲十九世紀中化學家最大之成就，顯示元素性質的統一性，而週期表則爲許多化學資料極精簡的系統表示法。表中元素分七週期，即七列。每列中由左至右元素的性質變化爲：

1. 金屬性漸減，非金屬性加強。

2. 氫化物穩定性漸增。

3. 氧化物穩定性漸減。

4. 氧化物酸性漸增。

5. 電離能漸增。

6. 熔點及沸點漸增至最高後再漸減等等。

【週期電流】(Periodic current)

具備反復作用而含有週期性的電流。

【週期運動】(Periodic motion)

一個運動的質點，經一定的時間，它的位置及運動狀況完全恢復原狀，這種運動稱爲週期運動。在週期運動中，質點的位移可用正弦和餘弦表示之。因諧和(*harmonic*)一詞適用於含有這些函數之表示式，故週期運動常稱爲諧和運動。

若週期運動之質點在同一路程上來回運動，稱這種運動爲振盪或者振動。例如鐘錶的平衡論、小提琴的絃、連於彈簧之物體、分子或格子中之原子，以及聲波經過時之空氣分子等的振盪。

週期運動中，從正常的靜止點移動所經的距離，稱爲位移 (*displacement*)。從靜止點起最大的位移，稱爲振幅 (*amplitude*)。一次往復運動所需的時間，稱爲週期 (*period*)，它的倒數即每單位時間的振動數，稱爲頻率 (*frequency*)。下表中列出一些週期運動計算之公式。

週期運動公式類輯

名稱 / 公式 / 屬類	力	加速度	速度	週期
	$f_t = ma_t$	$a_t = \frac{f_t}{m}$	$v_t = \frac{2\pi r}{T} = \sqrt{a_c r} = \omega r$	$T_c = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$

圓周運動	$f_c = ma_c = m\frac{v^2}{r}$	$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2 r}{T_c^2}$	$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T_c} = \omega_0 + \alpha t = \sqrt{\omega_0^2 + 2\alpha\theta}$	$= 2\pi\sqrt{\frac{r}{a_c}}$
錐動擺	$T = \frac{mg}{\cos\theta}$ $T_x = T\sin\theta = f_c$ $T_y = T\cos\theta = mg$	$a_c = g\frac{\sin\theta}{\cos\theta}$	同　　上	$T_c = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}}$
簡諧運動	$f = ma_c$ (自靜止點開始運動)	$a_{max} = a_c$ $a_y = -a_c \sin\theta$	$v_{max} = v$ $v_y = \pm v\cos\theta$	$T_c = \frac{2\pi r}{v_{max}} = 2\pi\sqrt{\frac{r}{a_{max}}}$
單　擺	$f_c = mg\sin\theta$	$a_c = g\sin\theta$	同　　上	$T_c = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
彈簧振動	$f = -ky$	$a_c = -\frac{k}{m}y$	同　　上	$T_c = \frac{2\pi r}{v_{max}}$
附　註	f_t—切線作用力 f_c—向心力 f—恢復力 T—張力 以振動方向為"＋"反之為"－"	T_L—週期 v—線速 ω—角速		頻率$(n) = \frac{1}{T_c}$

【週期運動的傅立葉分析】(Fourier's analysis of periodic motion)

簡諧運動（ *simple harmonic motion* ）只是週期運動（或振盪）的一種特殊情況；而週期為P的一般週期運動是用函數$x = f(t)$來表示的，而且有如下之性質：

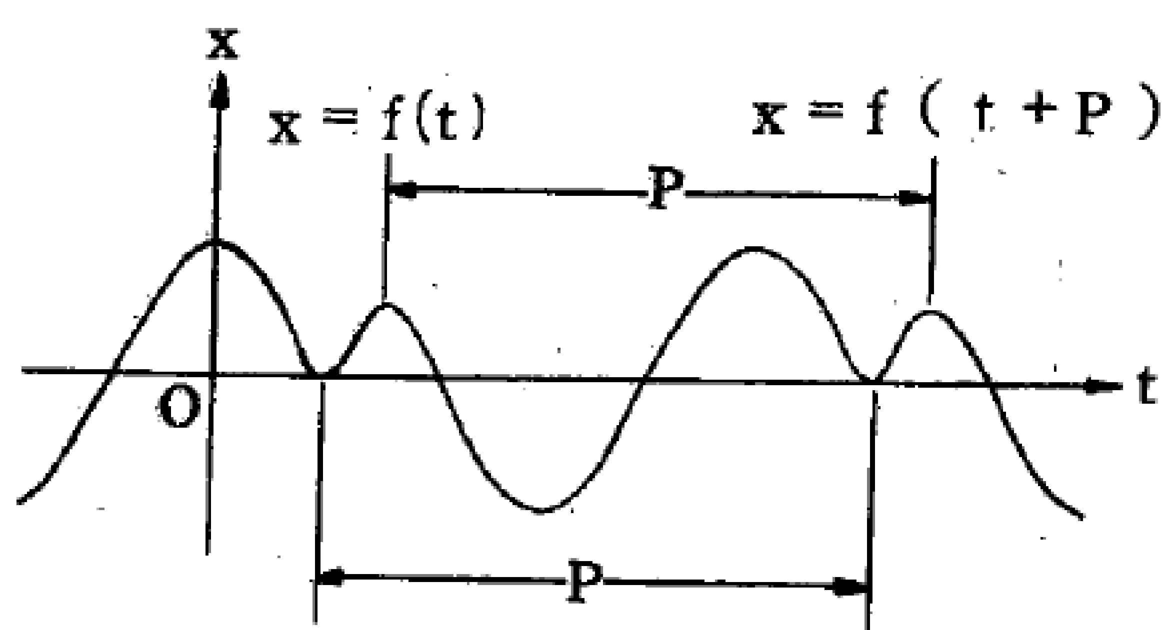


圖 12—262　時間之週期函數

$$f(t) = f(t+P)$$

如圖 12—262 所示；因此$f(t)$之圖形在每一個等於P之範圍之內重複呈現。設有一位移（ *displacement* ）用

$$x = A \sin \omega t + B \sin 2\omega t$$

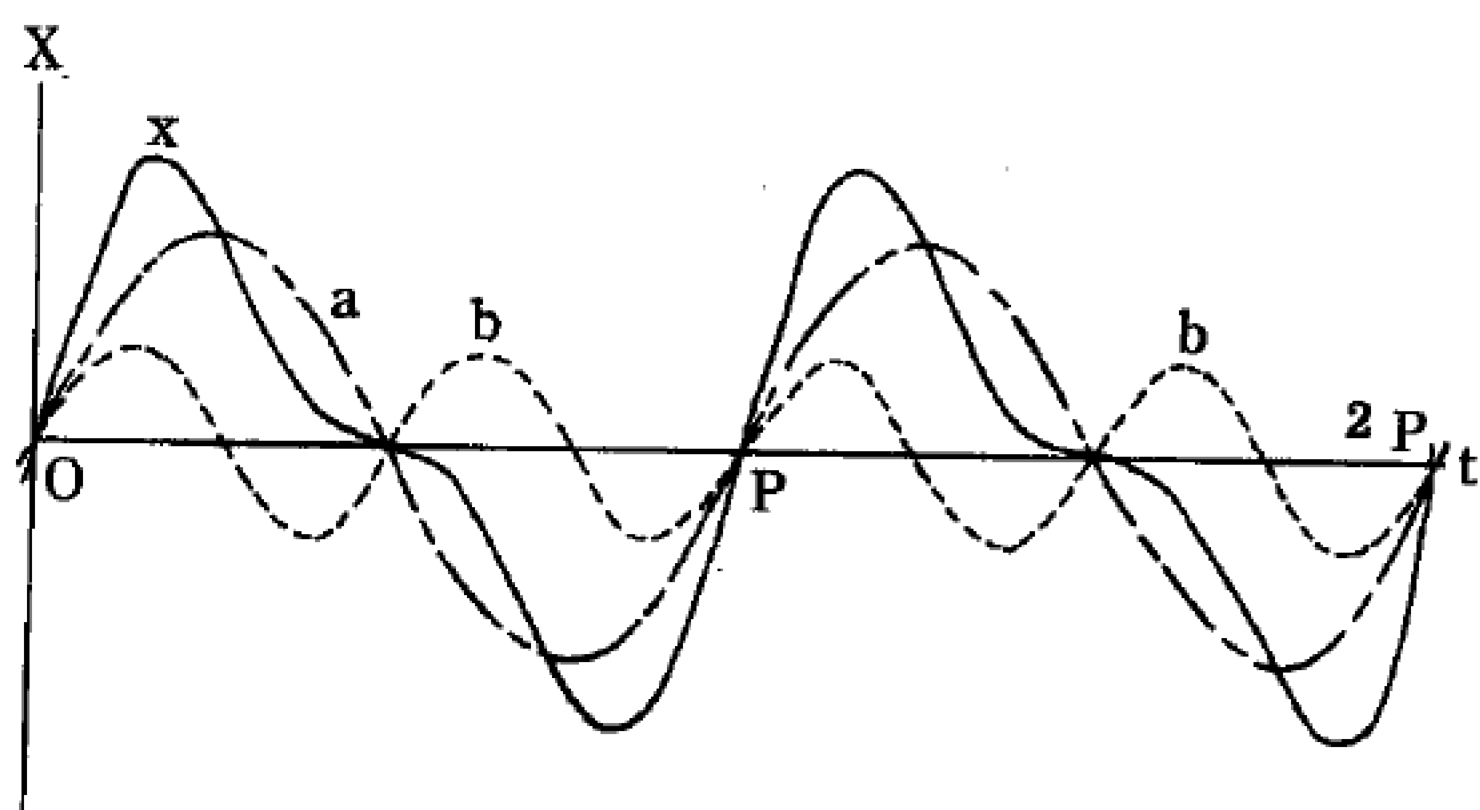


圖 12—263
頻率為ω與2ω之兩個簡諧運動之重疊

來表示的運動；此式表示角頻為ω與2ω或週期為P與$P/2$的兩個簡諧運動之重疊。很明顯地x也有週期性，而其週期也為P；這可以從圖 12—263中之圖形看得出來，在圖中，曲線a對應於$\sin \omega t$，而曲線b對應於$\sin 2\omega t$。雖然x有週期性，可是沒有簡諧性。

如果在上式中加上角頻各為

$$3\omega,\ 4\omega,\ \cdots\cdots n\omega$$

週期各為　　$P/3,\ P/4,\ \cdots\cdots P/n$

之各項　　$\sin 3\omega t,\ \sin 4\omega t,\ \cdots\cdots \sin n\omega t$

或者加上同一頻率的餘弦函數，仍會得到週期為P之位移x。其確實形

式決定於所加上去的正弦函數及餘弦函數之個數以及其相對的振幅。

因此可以看到，將頻率爲基本頻率之整數倍而振幅經過適當選擇的很多簡諧運動相加後，幾乎可以得到任意週期函數。反過來也是正確的，而且構成傅立葉定理（ *Fourier's theorem* ）。傅立葉定理是說週期爲$P = 2\pi/\omega$之週期函數$f(t)$能夠由很多簡諧項之重疊來表示，即

$$
\begin{aligned}
f(t) = & a_0 \\
& + a_1 \cos\omega t + a_2 \cos 2\omega t + \cdots\cdots + a_n \cos n\omega t + \cdots\cdots \\
& + b_1 \sin\omega t + b_2 \sin 2\omega t + \cdots\cdots + b_n \sin n\omega t + \cdots\cdots
\end{aligned}
$$

此式稱爲傅立葉級數（ *Fourier series* ）；ω稱爲基頻（ *fundamental frequency* ）；2ω，3ω，……$n\omega$，……稱爲諧頻或倍頻（ *multiply frequency* ）。

應用傅立葉定理，任何週期運動可以認爲是簡諧運動之重疊。在圖 12－264中，對應於最上面之曲線的週期運動被分解成很多傅立葉分量(*Fourier's vector*)，圖中所示者爲最初之十二個諧頻。舉例說，傅立葉定理能夠幫我們解釋由不同樂器所發聲音之不同音色。由鋼琴、吉他或笛子所發出的同一音調之音使我們的耳朵有不同的感覺，雖然這些音有相同之基頻；其不同之處是由於不同振幅之諧頻的存在所致，換言之，即聲音的傅立葉分析對不同之樂器是不相同的。

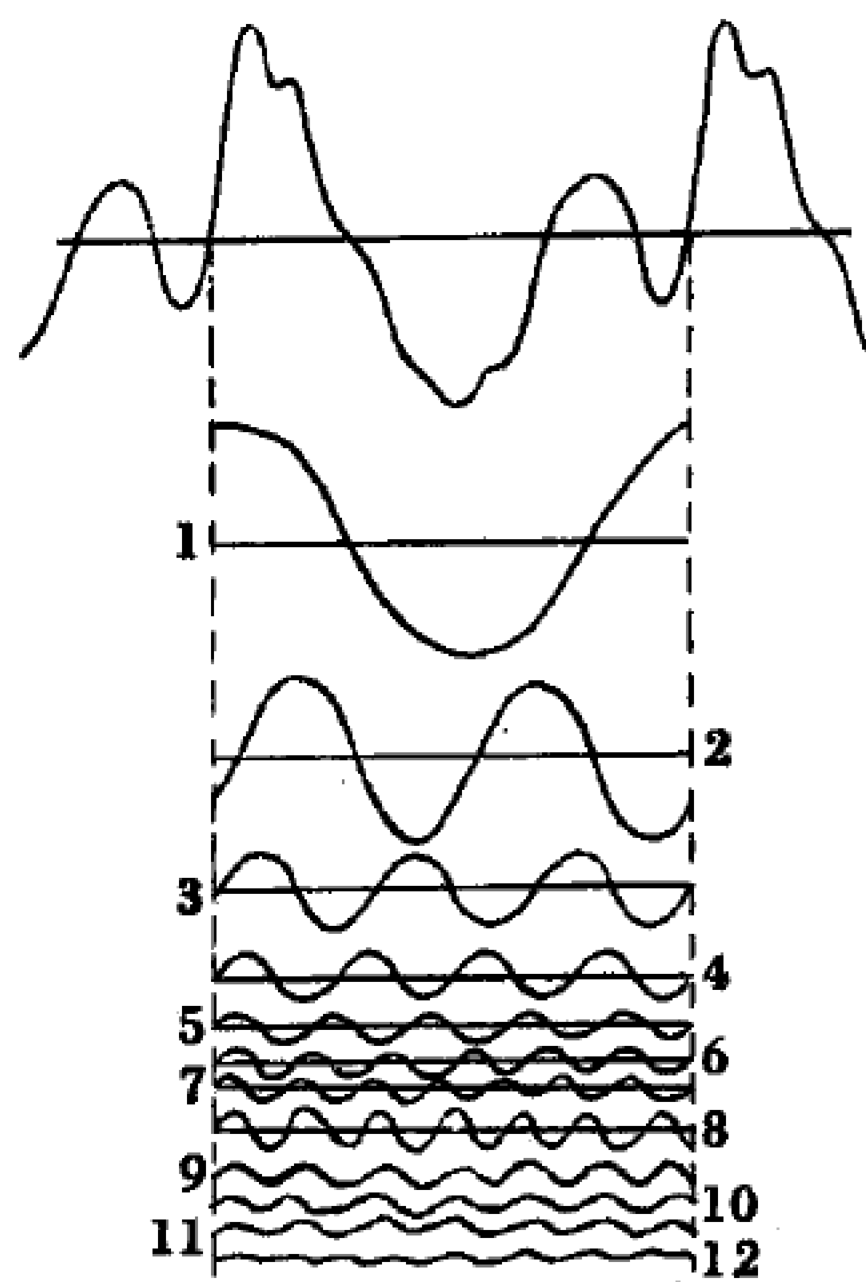
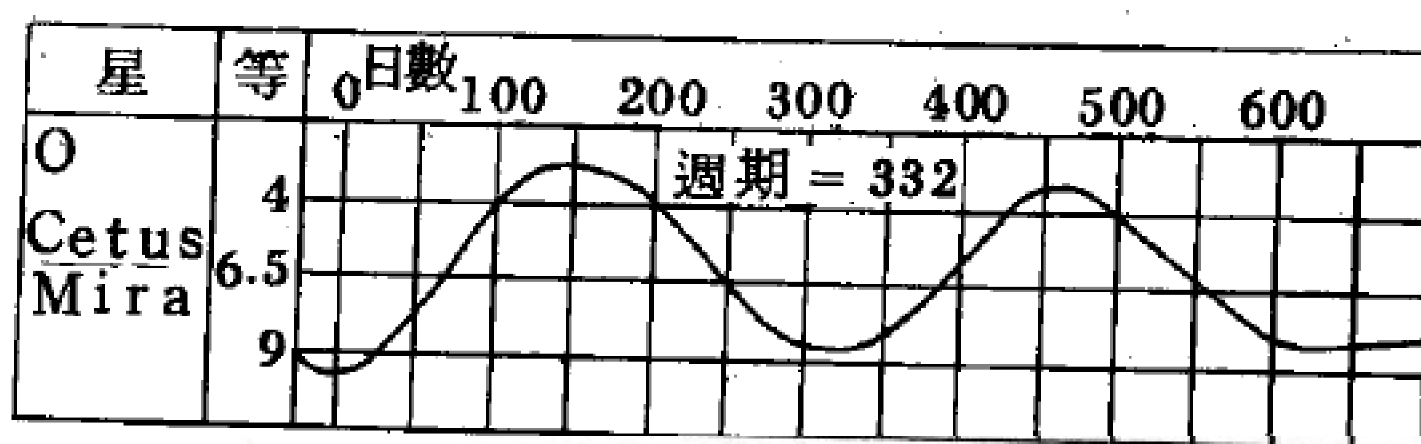


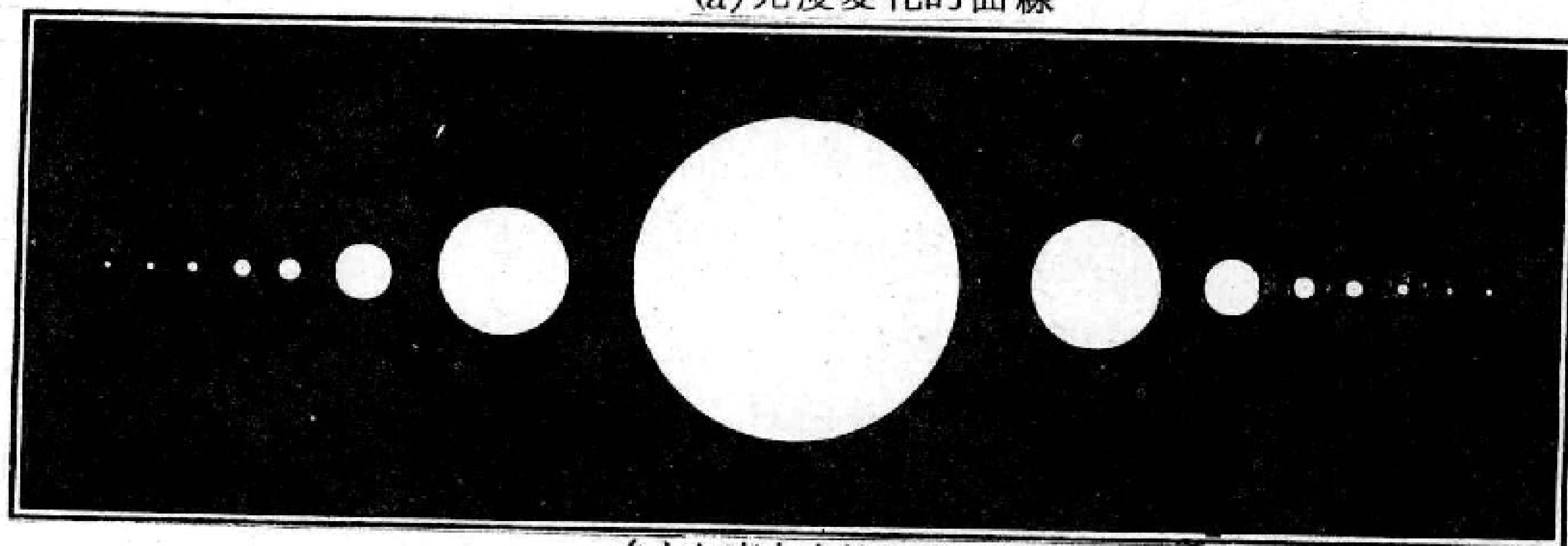
圖 12 — 264
週期函數之傅立葉分析

【週期變星】（ Periodic variable ）

光度變動有週期的變星，叫做週期變星；大概又可分爲長期變星和短期變星兩種。



(a)光度變化的曲線



(b)光度大小的比例

圖 12—265　長週期變星的一例——鯨魚座O星

變光週期約在三十日以上乃至數百日的變星，叫做長期變星。週期以一百日以上，六百日以下的居多；精確的週期多不能確定。變光範圍比他類變星大，多達四等以上，有時極大極小的光度相差到八、九等；極大極小多不正確。變光曲線，變動頗多。此類變星以鯨魚座*O*星即芻藁增二（*Mira*）爲代表。

此類變星大部分是和鯨魚座*O*星一樣；變光範圍自三等至九等，週期平均三百三十日。均係紅星，光譜以*M*型爲主，其他還有*N*，*R*，*S*等型；光譜中多有輝線。

變光週期約在一個月以內的變星，叫做短期變星；此類以仙王座δ星（δ *Cephei*）即造父一星爲代表，所以又叫做造父變星（*Cepheid variable*）。大致又可細分如下列幾種：

1.造父變星——週期三十日以內，一日以上。

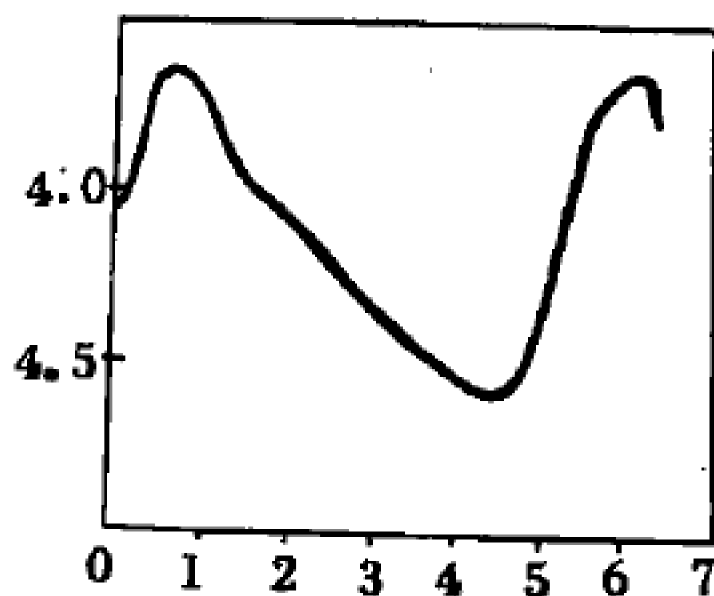


圖 12—266
造父變星的光度曲線

2. 雙子座ζ星型。

3. 天琴座*RR*星型(*RR Lyrae*)——逆大陵變星。

4. 天鵝座*XX*星型(*XX Cygni*)——週期甚短。

5. 大犬座β星型(β *Canis Major*)——變光範圍甚小。

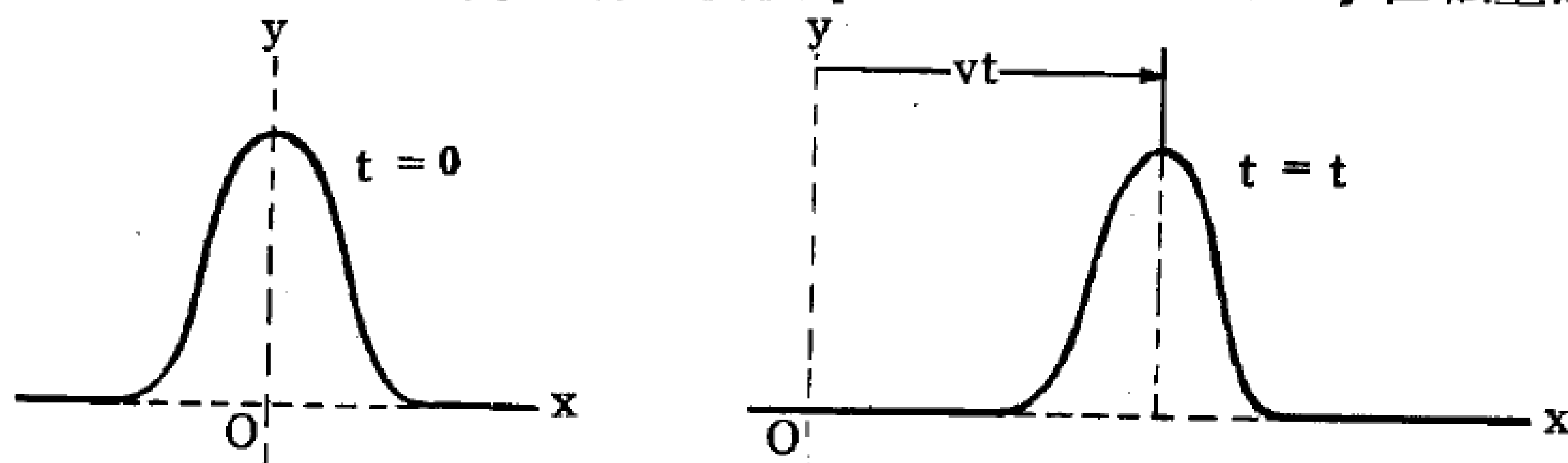
6. 星團變星(*Cluster type variable*)——週期一日以內，多僅數小時。

這類變星的變光範圍甚小，約一等內外；普通增光比減光速。光譜隨變光而變化；週期越短光譜越在上位，順次自*A*以至於*G*。變光原因，是天體表面的物理狀態的變化。

短期變星中，除了造父變星以外，還有二種。一個是以天琴座β星(β *Lyrae*)爲代表；這星以12日21時餘的週期，極大極小各兩次。屬於此類的變星約四十個。還有一種，叫做大陵變星(*Algol variable*)，以大陵五即英仙座β星(β *Persei*)爲代表；這星平常係二等星，到了某時期，急激減光，但爲時甚短。屬於這類的星約二百個。

【進行波】(**Travelling wave**)

設一長絃張於x方向，有一橫波(*transverse wave*)在絃上進行



(a)t=0時絃的形狀(此時爲脈波)

(b)在較後時間t時，脈波向右方進行至x=vt之距離

圖12—267

。在某時刻t，如$t=0$，絃之形狀可表爲

$$y=f(x) \qquad t=0$$

y絃在位置x之橫向位移。圖12—267(*a*)陳示在$t=0$時，絃之可能波形(脈波)。實驗顯示當時間進行時，如內部之摩擦損失甚小時，沿

絃進行之波並不改變其形狀。在較後時間 t 時，波向右進行 vt 距離，v 爲波速，設爲一定。在 t 時曲線方程式爲

$$y=f(x-vt) \qquad t=t \tag{1}$$

由此可知在 $t=0$ 時，$x=0$ 處之波形與在 t 時，$x=vt$ 處之波形相同(圖12—267(b))。上式表示向右進行任何形狀的波之一般方程式。欲描述一特定形狀之波，必須正確地表示出函數 f。

細究此方程式，若隨時注意波之一特定部分(或相)，則可注視特定之 y 值(譬如前述脈波的質點)。數學上之意義是當 $(x-vt)$ 有定值時，注意 x 如何隨 t 改變。顯然當 t 增大時，x 必隨之增加，以使 $(x-vt)$ 保持定值，因此，上式確實代表向右進行之波(x 隨時間而增)。如欲表向左進行之波，可寫爲

$$y=f(x+vt) \tag{2}$$

此時就一定之相 $(x+vt)$ 而言，時間增加時，則 x 減小。波之特定相的速度極易求得，就向右進行波之特定相而言，必須

$$x-vt=\text{常數}$$

對時間微分之，得

$$\frac{dx}{dt}-v=0 \quad \text{或} \quad \frac{dx}{dt}=v$$

故 v 確是波的相速度。如爲向左進行之波，同樣可得相速度爲 $-v$。

對波的一般方程式可再加以解釋。注意在任何固定時間 t 時，此方程式是 y 爲 x 之函數，此定義爲一曲線，代表此時絃的實際形狀，爲當時波之快照相片。另一方面，設欲注意絃上一點，即一定之 x 值，則此式是 y 爲 t 之函數，描述絃上一點的橫向位置如何因時而變。

此論證對縱波(*longitudinal wave*)仍然成立，類似之縱波例子是一長而直之氣體管，以管爲 x 軸，波或脈波則爲沿管進行之壓力改變。同樣之推理導致如(1)和(2)式的形式表示在管中諸點壓力因時

間之變化。

今考究一特定波形，其重要性。假設在 $t=0$ 時，沿絃之波列為

$$y = y_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$$

波形為一正弦曲線（圖 12 — 268 ）。最大位移 y_m 是正弦曲線的振幅，橫向位移之 y 值在 x，$x+\lambda$，$x+2\lambda$ 等處均相同。符號 λ 稱為波列的波長，代表波中同相之相鄰兩點間之距離。當時間進行時，令波向右進行，相速度為 v，因此在 t 時波的方程式為

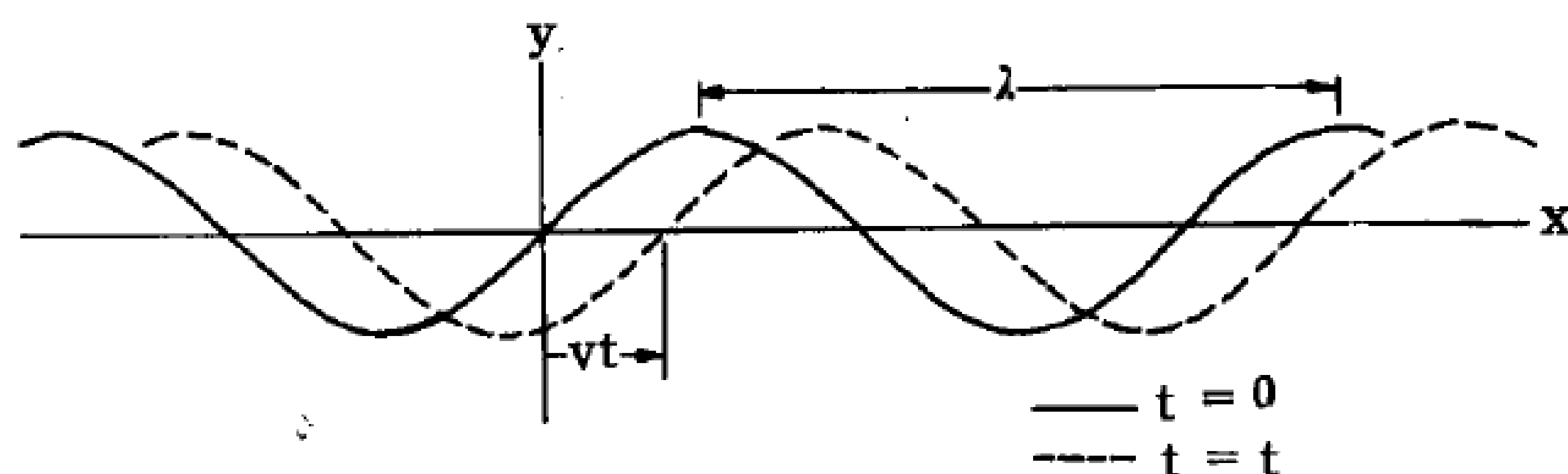


圖 12 — 268

在 t = 0時，絃之形狀為 $y=y_m \sin 2\pi x/\lambda$（實線）。在較後之時間t，正弦波已移至右方 x = v t 之距離，而絃之形狀為 $y = y_m \sin 2\pi (x-vt)/\lambda$。

$$y = y_m \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)$$

此式具有進行波所需之（ 1 ）式形式。

週期 T 是波前進一波長 λ 之距離所需之時間，故

$$\lambda = vT \qquad (3)$$

代入波之方程式得

$$y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)$$

從上式顯然可知在任一時間，在 x，$x+\lambda$，$x+2\lambda$ 等位置，y 有相同之值；在任一位置 x 處，在 t，$t+T$，$t+2T$ 等時間，y 有相同之值。

欲簡化上式為一簡繳形式，先定義二量，波數 k 和角頻率 ω 為

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad 及 \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (4)$$

如以此等量表示向右進行之正弦波爲

$$y = y_m \sin(kx - \omega t) \qquad (5)$$

而向左進行之正弦波爲

$$y = y_m \sin(kx + \omega t) \qquad (6)$$

比較(3)式與(4)式，可知波的相速度 v 爲

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

在(5)和(6)式之進行波中，曾假設在 $t = 0$ 時和 $x = 0$ 處之位移 y 爲零。當然並非必須如此，一般之向右進行之正弦波列可寫

$$y = y_m \sin(kx - \omega t - \phi)$$

其中 ϕ 稱爲相常數（*phase constant*）。例如，$\phi = -90°$，則 $x = 0$，$t = 0$ 時之位移 y 爲 y_m，此特例即爲

$$y = y_m \cos(kx - \omega t)$$

因餘弦函數是由正弦函數移動 90° 角而得。

若只注意絃上之一點，如 $x = \pi / k$，則在該點之位移 y 可寫爲

$$y = y_m \sin(\omega t + \phi)$$

這與簡諧運動相似。因此當波列沿絃進行時，絃上任何基素均對其平衡位置作簡諧運動。

【進行掃描】（Progressive scanning）

電視畫面的掃描是從左上角開始向右作直線掃描，掃描完了又轉回左端靠緊第一條掃描線再由左掃至右。

【進氣導管】（Inlet valve guide）

進氣導管位於引擎最前端的部分，它是擴散器的應用（圖12—269），在流體力學白努利定理（*Bernoulli's theorem*）中知道：當氣流穩定，密度不變時，氣流速度減小，則壓力增加；速度增大，則壓力減小（這就是一般燙衣服所用的噴水器原理），所以進氣導管的功用

一方面在於利用它的修長體形，使空氣吸入時平滑穩定，避免產生亂流；另一方面，則是利用它的擴散器原理，使得在前半段的氣流速度變大，進氣量增加，在接近後半段的壓縮器部分，氣流壓力加大，密度增高，並以有利的角度進入壓縮器，增加壓縮器的效率。它不直接產生動力，但是卻能使整個引擎因爲有了它而產生動力，對整個引擎而言，它實在是位默默不求名的英雄。

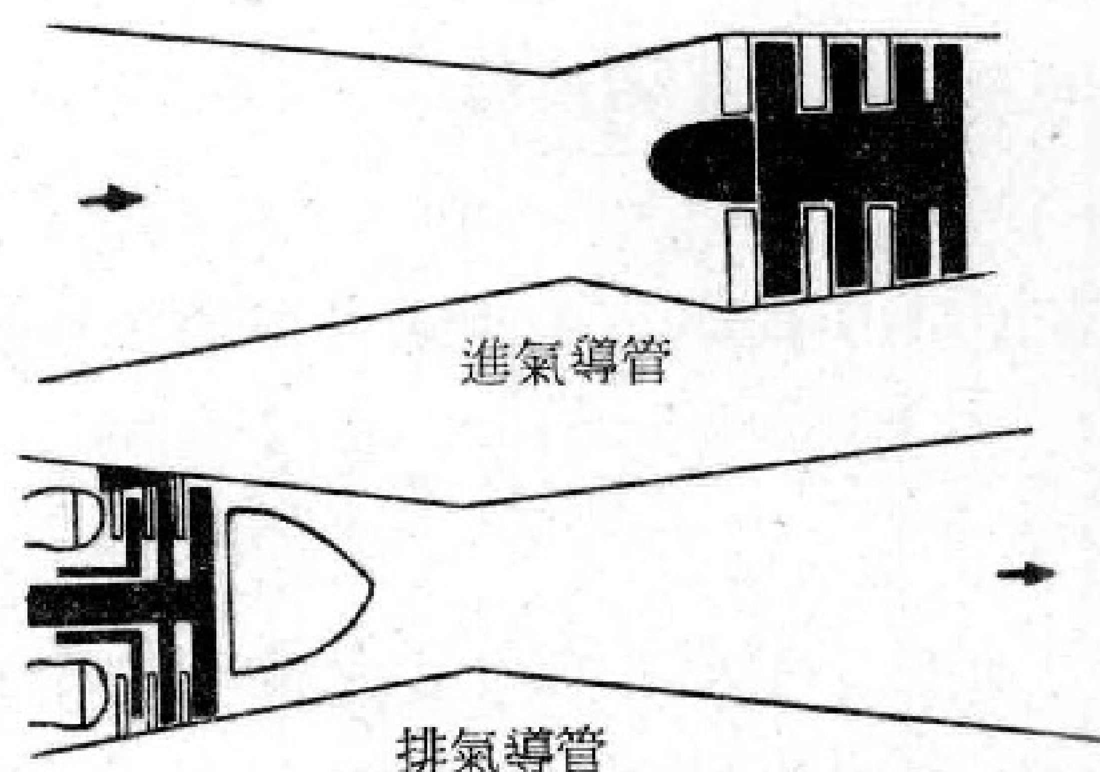


圖12— 269

最初的進氣導管是單流進氣導管，位於機頭前端或位於引擎前端，但是在戰鬪機的飛行姿態突然改變，進氣流不穩定，以致進氣量大爲減少，使推力消失發生失速現象，所以近代又改良成分流進氣導管使氣流分別由位於機翼翼根兩邊的進氣口進入，以避免失速現象。

在進氣導管與壓縮器之間，有進氣濾網的裝置，它可以防止吸入的空氣中夾雜著地上的雜物，擊傷高轉速的壓縮器葉片，有些引擎在壓縮器前還裝有一級金屬的進氣導片防止異物進入壓縮器，同時，它還可以使氣流以最有利的角度流入壓縮器。在進氣口，還有防冰系統，避免在高空氣流中由水蒸氣冷凝成的細小冰粒擊傷壓縮器葉片。

【進動】(Precession)

想像一個通常旋轉的陀螺或廻轉器(*gyroscope*)。每個人都知道廻轉器雖然傾斜但並不會倒下；而其上端卻繞著垂線作圓運動。這就是說，地球的向下引力是使得自旋陀螺的軸繞著垂線轉而不是使它更傾斜。這樣的旋轉稱之爲進動。同樣地，加一個磁場給自旋質子是使得質子進動而不是傾斜。如果我們加大磁場強度，它僅僅使質子轉得更快些。

此爲所有旋轉物體共有的性質，不論是恆星或行星、兒童的玩具，或是在原子中的電子。在地球的運動中，進動是由太陽和月球的引力所引起的，而以月球的作用爲主，因爲它的質量雖比太陽小，但距離地球則比太陽近得多之故。由太陽和月球的聯合作用所引起的進動，使地球的軸每年旋轉 50 角秒，每 25,800 年才完成一整轉，這種現象，使春季和秋季開始的日期慢慢的改變（歲差），是由希臘的天文學家喜帕秀士（*Hipparchus*）於西元前 125年發現的，直到牛頓建立了他的萬有引力定律，才得到解釋。

圖 12 — 270 (*a*) 陳示一繞本身對稱軸旋轉之陀螺，陀螺尖端固定於慣性參考系的原點 O。由經驗得知此快速旋轉陀螺的軸將繞垂直軸運動，而掃成一圓錐形。現由古典力學之原理以預卜此一運動，尤其是計算進動運動的角速率 ω_p 。

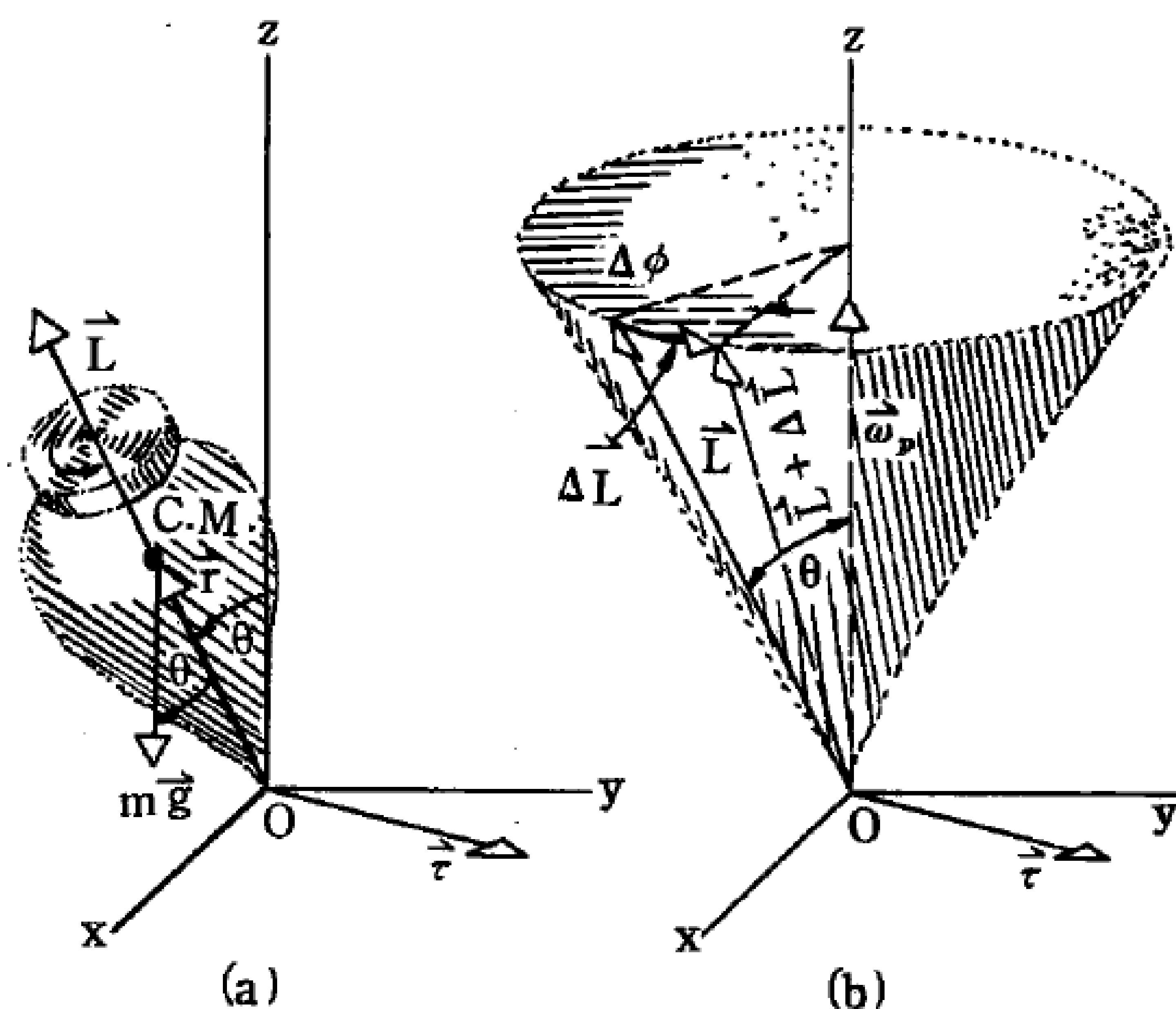


圖 12 — 270

在圖 12 — 270 (*a*)所示之瞬間，陀螺對其本身之軸有一角速度 ω。對同一軸尚有一角動量 $\vec{L}$，此軸與垂直方向成 θ 角。

有二力作用於陀螺，即支點 O 處向上之力，和向下作用於質心處之重力，或重量。向上之力通過 O 點，對此點之力矩臂爲零，故無轉矩（*torque*）可施。但重量 $\vec{mg}$ 對 O 之轉矩爲

$$\vec{\tau}=\vec{r}\times\vec{F}=\vec{r}\times m\vec{g}$$

$\vec{r}$表質心對支點的位置。上式表示$\vec{\tau}$垂直於$\vec{r}$及$\vec{mg}$所形成之平面；應用右手定則可知其方向如圖 12—270 (a)所示。注意陀螺進動時$\vec{\tau}$，$\vec{L}$和$\vec{r}$皆以角速率 ω_p 繞軸旋轉。

當轉矩作用於剛體，其角動量依基本關係式而改變，即

$$\vec{\tau}=d\vec{L}/dt$$

因$\vec{\tau}$爲向量，其大小、方向或同時兩者均能改變。上式顯示$\vec{L}$之改變（即$d\vec{L}$）須在$\vec{\tau}$的方向。圖 12—270 (a)顯示$\vec{\tau}$與$\vec{L}$成直角；故因轉矩作用而造成$\vec{L}$的改變亦須與$\vec{L}$成直角。

爲以數量討論此事，玆在Δt 時間內觀察此陀螺。在此期間內$\vec{L}$之改變由上式可知（若Δt 足夠小）

$$\Delta L=\tau\Delta t$$

$\vec{L}$之改變$\Delta\vec{L}$如同$\vec{\tau}$，亦與$\vec{L}$成直角，陳示於圖 12—270 (b)中，圖中可見由陀螺之軸進動而成的圓錐形；爲清晰計陀螺並未繪出。

在時間區間Δt 的末了時，陀螺的角動量爲$\vec{L}$和$\Delta\vec{L}$的向量和。因$\Delta\vec{L}$垂直於$\vec{L}$並設其大小遠較$\vec{L}$爲小，新角動量向量與原向量大小相同，但方向各異。因此隨時間之改變，其角動量向量的頭繞水平圓周旋轉（圖 12—270 (b)）。由於此向量恆與陀螺的轉動軸重合，故在性質上已討論陀螺的進動運動。

由圖 12—270 (b)知進動的角速率ω_p爲

$$\omega_p=\Delta\phi/\Delta t$$

但因$\Delta L\ll L$

$$\Delta\phi\cong\Delta L/L\sin\theta=\tau\Delta t/L\sin\theta \quad (1)$$

或

$$\omega_p=\Delta\phi/\Delta t=\tau/L\sin\theta$$

因爲（圖 12—270 (a)）

$$\tau\doteq rmg\sin(180^\circ-\theta)=rmg\sin\theta \quad (2)$$

故 $\omega_p = mgr/L$

進動角速度與θ無關而與角動量的大小成反比。角動量大時，進動角速度則小。

（1）式可以向量形式表示。首先將（1）式改寫為

$$\tau = \omega_p L \sin \theta$$

在圖12—270 (b)中，$\vec{\omega}_p$為垂直向上的向量，θ為$\vec{\omega}_p$和$\vec{L}$間之夾角。上式右邊為向量乘積$\vec{\omega}_p \times \vec{L}$的大小，故此式得出向量關係式

$$\vec{\tau} = \vec{\omega}_p \times \vec{L}$$

中$\vec{\tau}$的大小。這是關聯進動角速度與$\vec{\tau}$和$\vec{L}$的一般向量表示法；讀者應證明由此可導出（2）式。應用右手定則於圖12—270 (b)可證明（2）式右端因子的順序正確無誤，即$\vec{\omega}_p \times \vec{L}$能正確表出$\vec{\tau}$的大小和方向。

【鄂惹效應】（Auger effect）

設某原子K殼層上之某個電子被入射的X射線光子擊出時，則L殼層或M、N殼層上的電子將躍遷至K殼層，以填補K殼層上所遺留的電子空位；這時離子態的原子處於受激態，發射螢光X射線。若這種螢光X射線光子於發射時將L殼層或M、N等殼層上的電子擊出，則這些電子稱為鄂惹電子（*Auger electron*），這種現象稱為鄂惹現象。

鄂惹現象於1925年為鄂惹所發現。他使用威爾遜霧室（*Wilson cloud chamber*）在研究由氬（*Ar*）原子發射的光電子時，發現百分之九十的光電子長徑跡都有較短的徑跡隨伴產生。顯示出氬原子在發射光電子之同時另發射一能量較低的電子。鄂惹認為這種現象是由無輻射的躍遷所引起。

【都卜勒】（Christian Johann Doppler 1803—1853）

奧地利物理學家，1803年十一月廿九日生於奧地利之薩爾斯堡（*Salzburg*），在薩爾斯堡及維也納大學求學，1850年任維也納大學物理學研究所所長及實驗物理學教授，1853年三月十七日在維也納逝世

。都卜勒最早的研究著作都在數學方面，但他的大名卻與物理學有關。在 1842 年發表現稱為都卜勒效應的論文，並推論光與聲音一樣，自遠處運動星球發出的光，其顏色會改變。1845年巴勒特（*C.H.D. Bugs Ballot*）以實驗證明聲音的都卜勒效應，1848 年斐索（*Armand Fizeau*）才正確解釋光的都卜勒效應。可用都卜勒效應研究星球的運動，及發現雙星（*double stars*）。

【都卜勒加闊】（Doppler broadening）

詳閱“都卜勒寬展（*Doppler broadening*）”條。

【都卜勒原理】（Doppler's principle）

當聲源向聽者進行時，聽者所聞及之音較高於聲源所發生之音；反之，聲源離聽者進行時，則聽者所聞及之音較低。當聽者向聲源進行時，聽者所聞及之音較高；反之則較低。

【都卜勒效應】（Doppler effect）

當聽者向靜止聲源運動時，所聽到之音調（頻率）將較靜止時所聽到者高。若聽者離開靜止之聲源，則所聽到之音調比靜止時所聽到者為低。當聲源移動趨近或遠離靜止之聽者時，也有同樣結果。火車汽笛之音調在接近聽者時將比在其經過後遠離時為高。

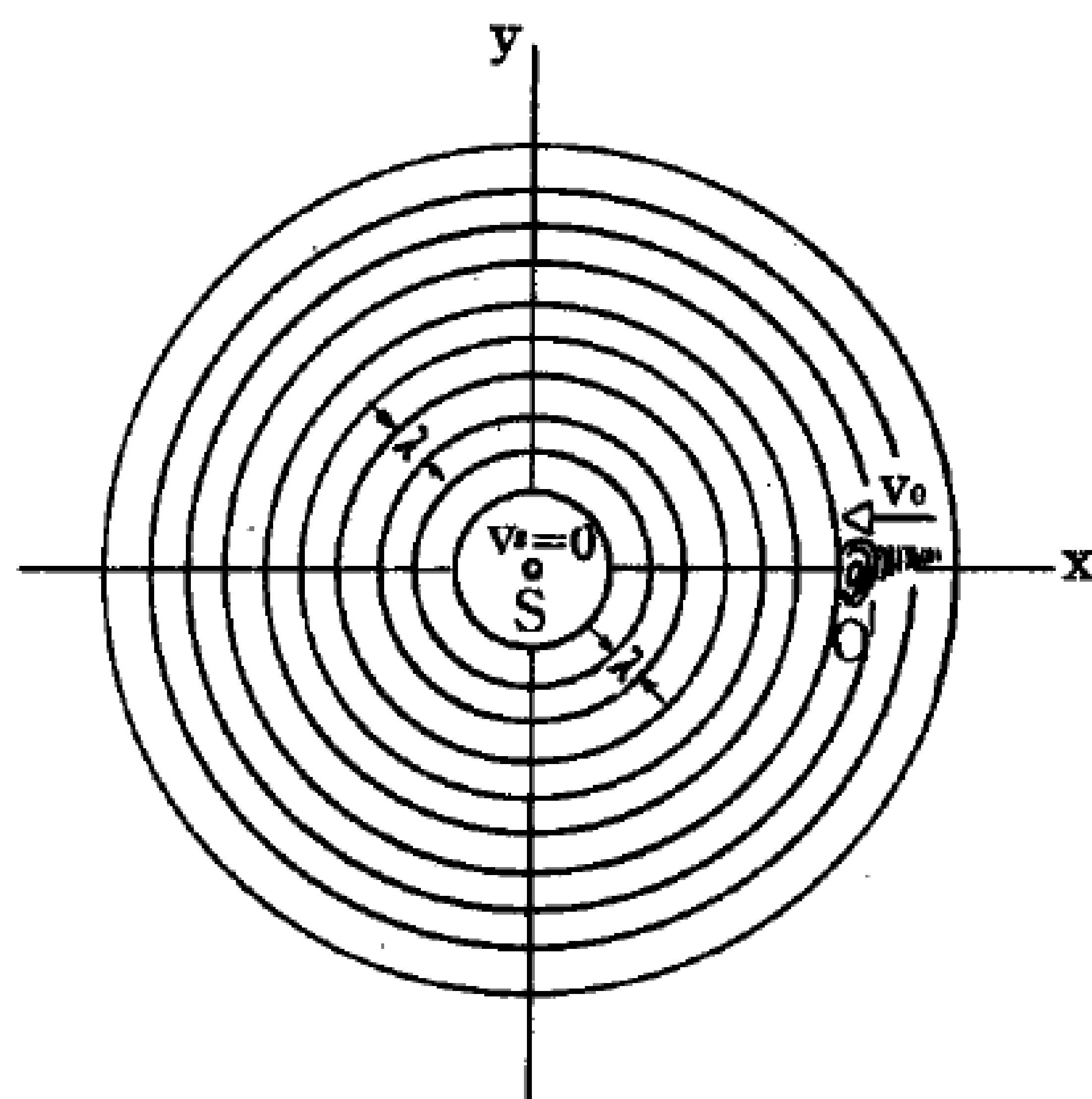


圖 12 — 271

都卜勒（*Christian Johann Doppler*）於 1842 年提出：由於物體和觀測者的相對運動，發光體的顏色像發聲體的音調一樣必然改變，這稱為都卜勒效應。可普遍用於波動，今用之於聲波，只考慮聲源

和觀測者沿兩者之連線運動時之特例。

考慮靜止於介質中之參考系，聲波在此介質中進行。圖 12 — 271 所示爲靜止於此系之聲源 S，觀測者 O（註以耳）則以速率 v_0 向聲源運動。諸圓代表在介質中行進之波前，間隔爲一波長。若觀測者在介質中靜止，則在 t 時間內將接受 vt/λ 個波，v 爲介質中之聲速，λ 爲波長。因觀測者向聲源運動，在同時間 t 內，又接受另外 v_0t/λ 個波，觀測者所聽到之頻率 ν' 是單位時間內所接受之波數

$$\nu' = \frac{vt/\lambda + v_0t/\lambda}{t} = \frac{v+v_0}{\lambda} = \frac{v+v_0}{v/\nu}$$

即
$$\nu' = \nu\frac{v+v_0}{v} = \nu\left(1+\frac{v_0}{v}\right) \qquad (1)$$

觀測者所聽到之頻率 ν' 是靜止時所聽到之正常頻率 ν 加上因觀測者運動所生之增加量 $\nu(v_0/v)$。當觀測者自靜止聲源遠離時，則頻率減少 $\nu(v_0/v)$，相當於因觀測者之遠離運動而在單位時間內未抵達觀測者之波數。則

$$\nu' = \nu\left(\frac{v-v_0}{v}\right) = \nu\left(1-\frac{v_0}{v}\right)$$

因此，當對介質而言聲源爲靜止，而觀測者爲運動時，其一般關係式爲

$$\nu' = \nu\left(\frac{v \pm v_0}{v}\right) \qquad (2)$$

在向聲源運動時用正號，離開聲源時用負號。其改變之原因乃由於觀測者在介質中運動，使得在每秒鐘中截得較多或較少之波數所致。

當聲源向靜止之觀測者運動時，其效應是波長之減短（見圖 12 — 272），因聲源緊隨在接近的諸波之後，因此波峯擠在一起。若聲源的頻率爲 ν，其速率爲 v_s，則在每次振動時進行 v_s/ν 之距離，而每一波長即縮短此量，故抵達觀測者之聲音的波長不是 $\lambda = v/\nu$，而是 $\lambda' =$

$v/\nu - v_s/\nu$ 。因此觀測者所聽到之聲音頻率增加，為

$$\nu' = \frac{\nu}{\lambda'} = \frac{v}{(v - v_s)/\nu} = \nu\left(\frac{v}{v - v_s}\right) \qquad (3)$$

若聲源離開觀測者，則發出之波長比 λ 大 v_s/ν ，所以觀測者所聽到之聲音是減少之頻率，即

$$\nu' = \frac{v}{(v + v_s)/\nu} = \nu\left(\frac{v}{v + v_s}\right)$$

因此，對介質而言，觀測者靜止，而聲源運動時，其一般關係式為

$$\nu' = \nu\left(\frac{v}{v \mp v_s}\right) \qquad (4)$$

向觀測者運動時用負號，離開觀測者時用正號。其改變之原因乃由於聲源在介質中運動，減短或增長傳過介質之波長所致。

若聲源和觀測者均在介質中運動，學者應能證明觀測者所聽到之頻率為

$$\nu' = \nu\left(\frac{v \pm v_0}{v \mp v_s}\right) \qquad (5)$$

上面之符號（分子＋，分母－）對應於聲源和觀察者在其連線上互相接近，下面之符號則對應於互相遠離。當 $v_s = 0$ 時，(5)式化為(2)式；當 $v_0 = 0$時，化為(4)式。

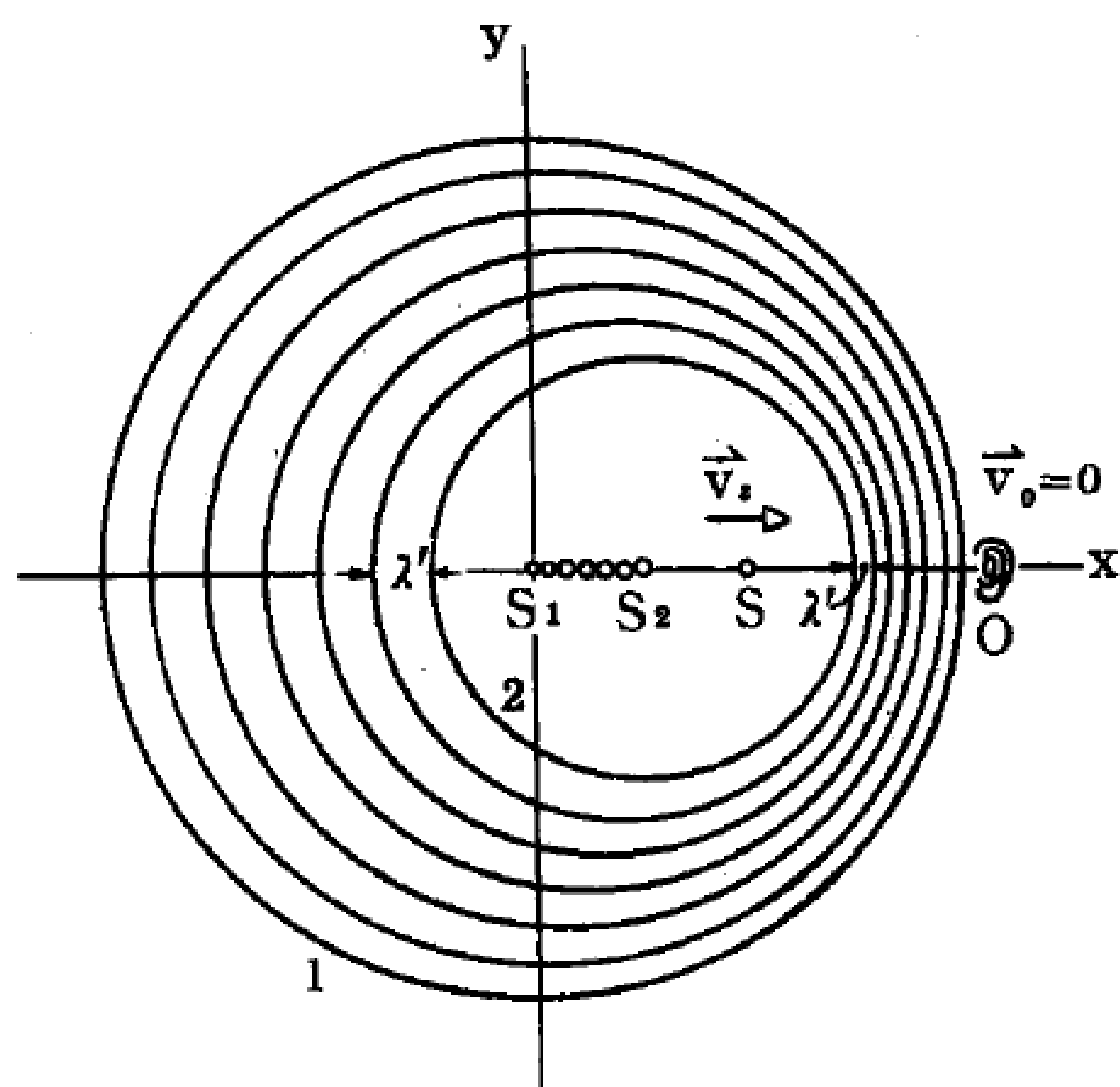


圖 12—272

若共振箱上振動之音叉向牆急速移動，觀測者可聽到兩不同頻率之音，一是直接從退離之音叉所聽到者，且其音調因運動而降低，另一音

是由牆所反射之波，且音調增高，此兩波列的重疊產生拍。

都卜勒效應在光中甚爲重要。光速過大，只有天文或原子波源，其速度遠大於地球上之普通光源，前面陳示顯明之都卜勒效應。觀測從運動天體上元素發出之光的波長，與觀測該等元素在地球上發出之光的波長相比較，有波長移動現象。一個容易觀察到之都卜勒效應的結果是自高熱氣體所發射之輻射線的加寬現象（或頻率之散佈），此種加寬現象是由於發光之原子或分子在向各方運動，而相對於觀測儀器有變化不已的速率之結果，因此可測得頻率的散佈。

光的都卜勒效應公式和聲的公式不同。在聲中，不僅聲源和觀測者之相對運動決定頻率的改變，事實上，即使相對運動相同〔（1）式之 v_0 等於（3）式之 v_s 〕，也得不同數量的結果，其結果與波源或觀測者是否運動有關，此種差異係因 v_0 和 v_s 是相對於傳播聲波之介質而測量，且因此介質決定波速之故。但光的傳遞不需物質介質，且相對於波源或觀測者之光速總是相同之值 c ，而不論此物體的相對運動如何，此乃狹義相對論的基本假設。因此，就光而言，只有波源和觀測者的相對運動方能導致物理改變，不須物質介質作爲參考系。雖然光的都卜勒效應和聲音者不同，但其結果在性質上相同。若視 v_s 爲光源和觀測者的相對速度，且 v_s 遠比光速爲小，（4）式可用之於光，爲極佳之近似。

至於電磁波之都卜勒效應必須分開討論，第一因電磁波不含運動物質，故波源相對於介質之速度無須討論，第二其傳播速度爲 c ，且對所有之觀察者均同，與觀察者之相對運動無關。電磁波之都卜勒效應必要用相對性原理來計算。

一觀察者以速度 v 相對於頻率爲 ν 之波源運動所量得之頻率 ν' 爲

$$\nu' = \nu \frac{1 - v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

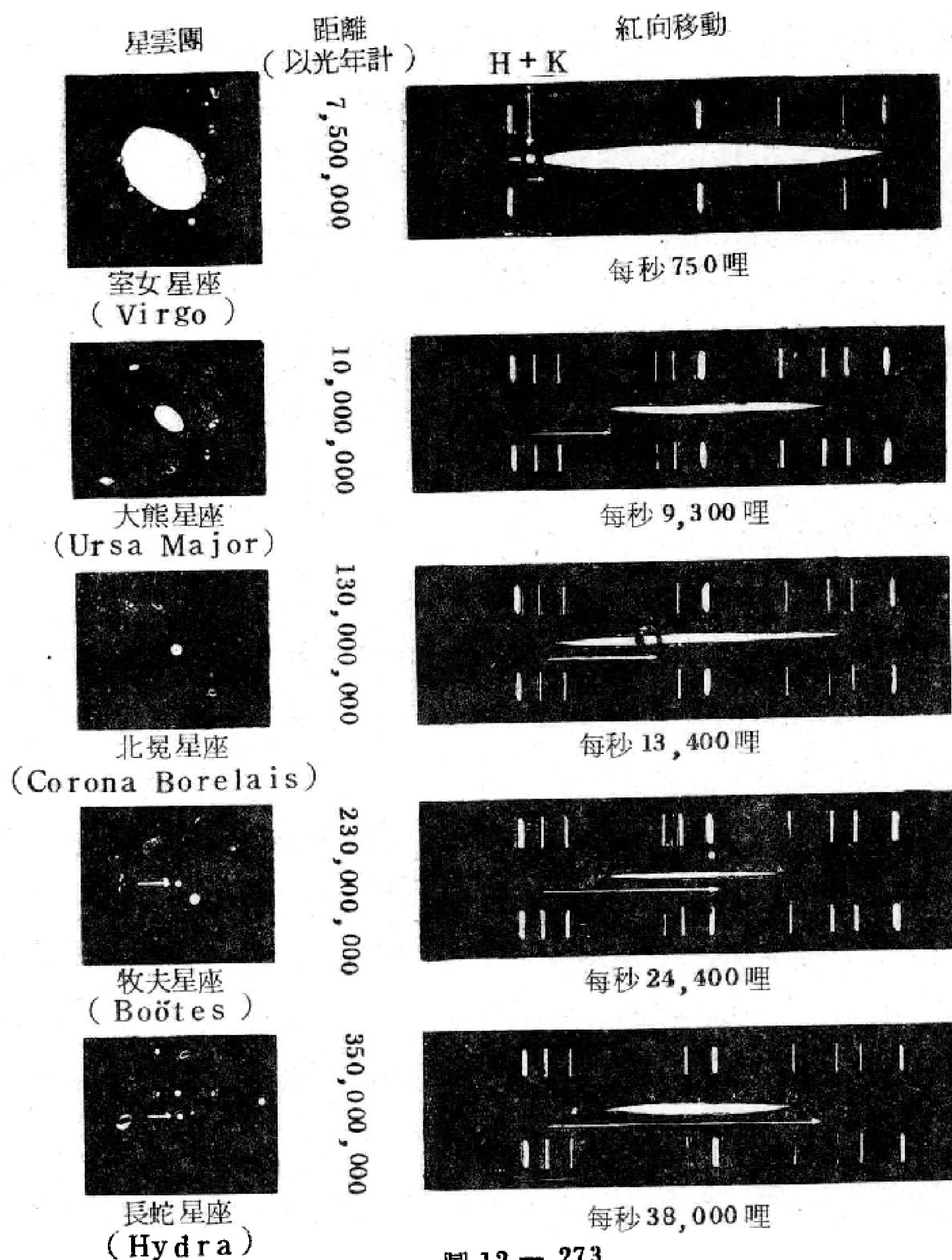


圖 12 — 273

河外星雲中之都卜勒效應。光譜H鈣線及K鈣線之紅向移動（以箭頭表示）隨星雲距離之增大而增加，顯示較大之退離速度

此式亦可寫成另一形式

$$\nu' = \nu\sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$

對小速度而言，此即 $v \ll c$，上式變為

$$\nu' \approx \nu\,(\,1 - v/c\,)$$

假設O相對於電磁波之波源係爲靜止，若波源O與觀察者 O' 背道而馳（ v 爲正），則可知 O' 觀察到一較低頻率，或者相當於較長波長，此種現象可在星球之光譜中觀察到而稱爲紅向移動（ *red shift* ），此乃因來自遠離而去之星球的可見光譜向紅色光（或較長）波長之界限移動之故，就因此項事實而可估計這些星球退離之速度。

圖 12 — 273 所示爲在幾個星雲光譜中看到的鈣線H及K之紅向移動，其移動以水平線表示，移動愈大，則相對速度愈大，星雲之距離愈遠，最近觀測到某些星雲退離之速度大至光速之一半，因而認爲紅向移動並非全因都卜勒效應所致。有趣的是觀察仙女星座(*Andromeda*)所發

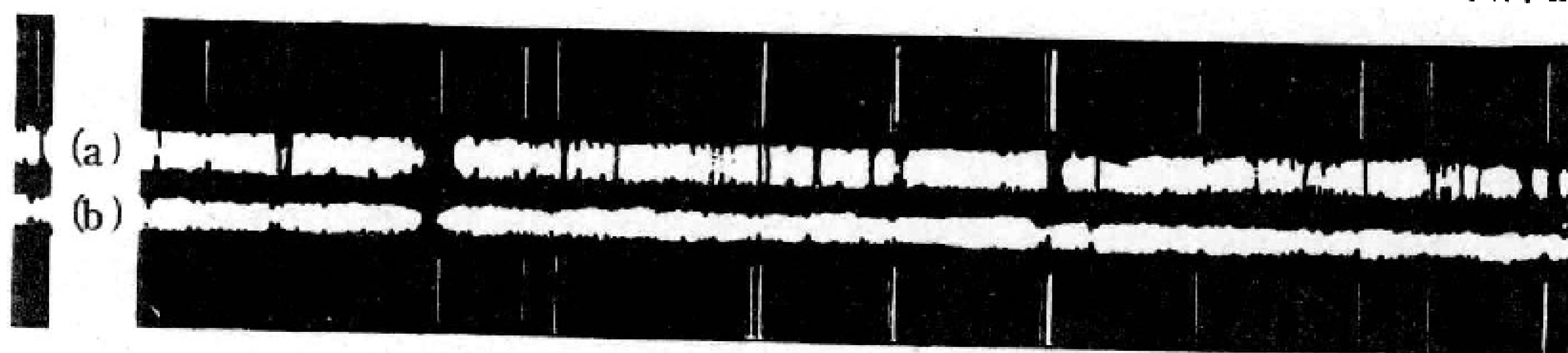


圖 12 — 274　等速度之大角星的光譜

出之光向較短波長移動，或藍向移動，此似乎表示在轉動銀河中的太陽系現在正朝向這個星座運動。

圖 12 — 274 所示爲大角星（ *Arcturus* ）所發出之光譜的移動，此星距太陽約爲 36 光年，這兩個光譜係隔六個月而得者，圖中(*a*) 1939 年七月一日；測得相對於地球之速度爲＋ 18公里秒$^{-1}$。(*b*) 1940 年一月十九日；測得速度爲32公里秒$^{-1}$。50公里秒$^{-1}$的速度差完全由於地球之軌道速度改變所致。當與二參考光譜比較時，可明顯看出光譜線之紅向移動。可知有一朝紅色光之移動，而另一個向藍色光移動，這個移動乃因在六個月期間地球相對於大角星作反向運動所致。

【都卜勒移動】（ Doppler shift ）

不論光源與觀察者的相對速率如何，總測得相同的電磁輻射速率。

測得的頻率和波長均有改變，但其乘積爲光的速率，恆保持一定。這種頻率移動稱爲都卜勒移動，以紀念最先預測此移動之都卜勒（*Johann Doppler*）而命名。

若聲源以速率 u 遠離觀察者而運動，則觀察者聽到的頻率爲

$$\nu' = \nu\frac{1}{1+u/v}$$

1. 聲波
2. 觀察者固定於介質中
3. 聲源退離觀察者

（1）

在上式中 ν 爲當聲源靜止時所聽到的頻率，v 爲聲速。

若聲源靜止於傳聲介質中，但觀察者以速率 u 遠離聲源而運動，則觀測到的頻率爲

$$\nu' = \nu\left(1-\frac{u}{v}\right)$$

1. 聲波
2. 聲源固定於介質中
3. 觀察者退離聲源

（2）

即使聲源和觀察者的相對分離速率 u 相同，（1）式和（2）式所測的頻率並不相同。這不足爲奇，因聲源在觀察者爲靜止的介質中運動，與觀察者在聲源爲靜止的介質中運動，兩種情形有別。

將（1）和（2）式用之於光，即以光速 c 替換聲速 v。然而光與聲不同，至於光的情形，光源與觀察者何者相對傳光介質而運動，已證明實無法鑑別。意即“光源退離觀察者”與“觀察者退離光源”確屬不同，並應呈現恰正相同的都卜勒頻率。當用之於光時，（1）式、（2）式或二式均不正確。事實上，相對論所預測的都卜勒頻率爲

$$\nu' = \nu\frac{1-u/c}{\sqrt{1-(u/c)^2}}$$

1. 光波
2. 光源和觀察者相分離

（3）

在以上三式中，若以 $-u$ 代替 u，則得光源與觀察者彼此接近的適當方程式。

若比值 u/c 甚小，則（1）、（2）和（3）三式並無太大差別。茲用二項式定理展開（1）、（2）和（3）三式，以 c 代 v，則描述光源和觀察者分離時的三式成為

$$\nu' = \nu\left[1-\frac{u}{c}+\left(\frac{u}{c}\right)^2+\cdots\right] \quad \text{古典理論；觀察者固定於介質中} \quad (1a)$$

$$\nu' = \nu\left(1-\frac{u}{c}\right) \quad \text{古典理論；光源固定於介質中} \quad (2a)$$

及

$$\nu' = \nu\left[1-\frac{u}{c}+\frac{1}{2}\left(\frac{u}{c}\right)^2+\cdots\right] \quad \text{相對論} \quad (3a)$$

就現有的各種單色光源，甚至原子大小的光源，比值 u/c 甚小，意即

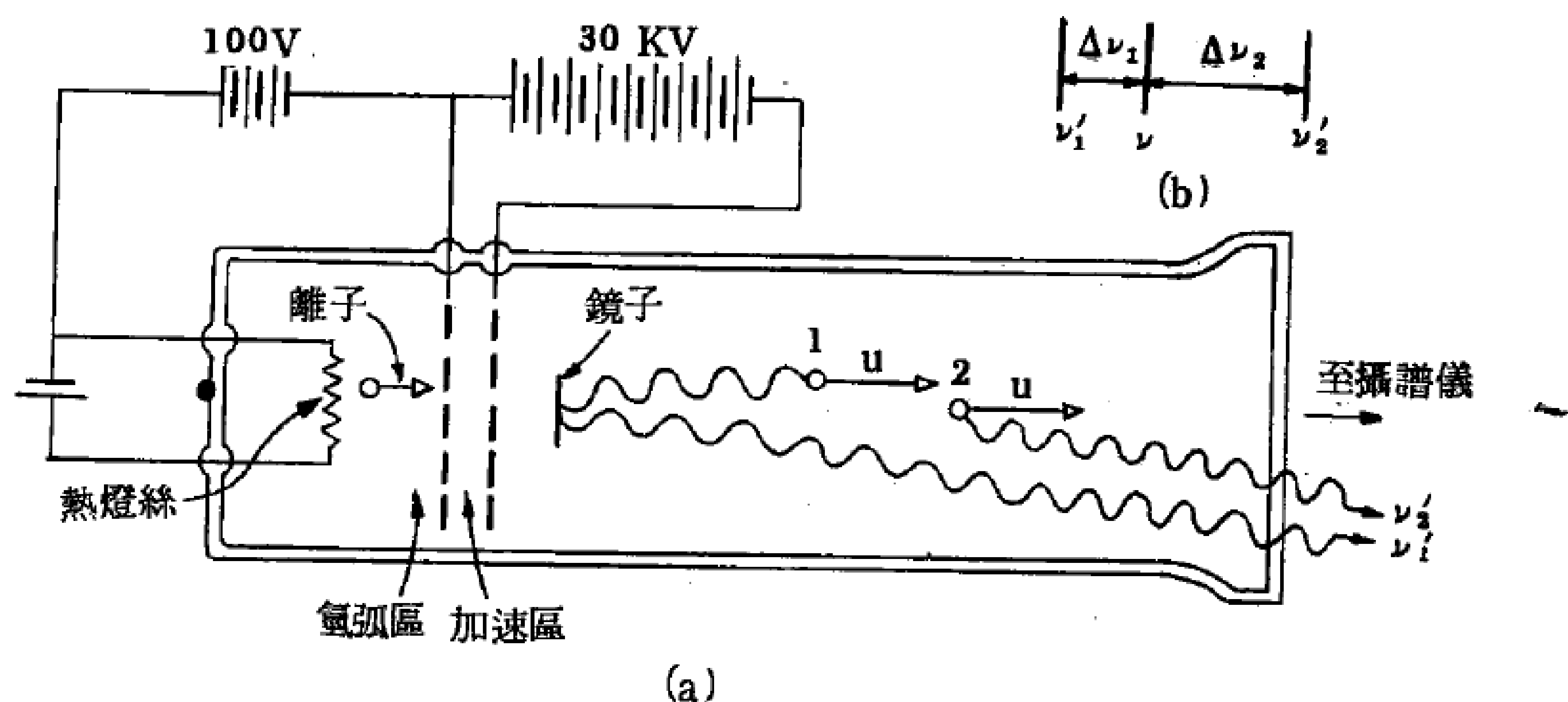


圖 12—275　艾維斯、史蒂威爾實驗

以上三式中連續之項迅即變小，依照所要的精確程度，僅有限之項數需予留用。

幾乎在所有情況中，上列三式間的差異並不重要，而重要的是以實驗驗證（3a）式時，因而連帶驗證相對論。如欲作成則須有速率極近光速的光源，至少要能量到 $(u/c)^2$ 項，因這是兩式開始不同的項。

在 1938 年艾維斯（*H.E.Ives*）和史蒂威爾（*G.R.Stilwell*

）完成一種精密實驗，他們將氣體放電管所生的氫原子射束，以速率送入一管中，如圖 12—275(a)。用鏡觀測這些氫原子在 u（原子 1）的方向，和在與 u（原子 2）相同方面所發射的光。用精密的攝譜儀觀察頻率爲 ν 的特定光譜線，又測得移動頻率爲 ν_1 和 ν_2 的譜線。這些有移動頻率的譜線，以及自靜止原子所發射的譜線，在照相底片上依其頻率而曝光在不同位置，如圖 12 — 275 (b)所示。

假設光在對觀察者爲固定的古典介質中運動，由（ 1 a ）式求得原子 1 和原子 2 所發之光的頻率移動，除以原來的頻率。光源 1 正遠離觀察者，正可用鏡將光射至探測器。光源 2 正向探測器運動，故須在（ 1 a ）式中以 $-u$ 表速率。

$$\frac{\Delta\nu_1}{\nu}=\frac{\nu_1-\nu}{\nu}=-\frac{u}{c}+(\frac{u}{c})^2+\cdots$$

$$\frac{\Delta\nu_2}{\nu}=\frac{\nu_2-\nu}{\nu}=\frac{u}{c}+(\frac{u}{c})^2+\cdots$$

若這二頻率移動一爲正一爲負，相加並不計高次項，所得表示式則僅與速度平方項有關

$$\frac{\Delta\nu_1+\Delta\nu_2}{\nu}=2(\frac{u}{c})^2 \text{（古典理論，觀察者固定）}$$

因相對論的都卜勒方程式中該項與上式不同，按照相對論有不同的表示式，即

$$\frac{\Delta\nu_1+\Delta\nu_2}{\nu}=(\frac{u}{c})^2 \text{（相對論定律）}$$

艾維斯和史蒂威爾所作頻率移動量度的結果列示於下表（僅爲艾維斯、史蒂威爾實驗之部分），與理論預測比較，顯示僅與相對論相符。

艾維斯、史蒂威爾實驗

$\frac{\Delta\nu_1+\Delta\nu_2}{\nu}$, 10^{-5}	運動原子的速率（$=u$），10^6米/秒			
	0.865	1.01	1.15	1.33
按照古典學說之理論值〔觀察者固定於介質中（1 a）式〕	1.67	2.26	2.90	3.94
按照相對論之理論值〔（3 a）式〕	0.835	1.13	1.45	1.97
實驗值	0.762	1.10	1.42	1.90

在天文學上光的都卜勒效應有甚多應用，如用以決定太空中發光星體朝向或退離地球運動的速率。這種都卜勒移動僅測出相對速度的徑向分量或視線（*line of sight*）分量。曾被作過這種量度的所有星雲均呈現退離地球之勢，距離愈遠的星雲退離速度愈大；這些觀測是膨脹之宇宙觀念的依據。

【都卜勒寬展】（Doppler broadening）

又稱都卜勒加闊，將每一原子的質量為m所組成的氣體，裝在開有小孔的盒中，使溫度保持T°K。由原子所放出的光，經過孔口而射入分光鏡。當原子靜止時，其光頻率為ν_0，在分光鏡中顯出一條很細的明線。但由於原子並非都靜止，故由都卜勒效應，被觀察到的頻率變成

$$\nu=\nu_0(1+\nu_x/c)$$

式中ν_x表被觀察的原子在垂直於窗口方向的速度，c表光速。由於原子的速度有其分佈的關係，故到達分光鏡的頻率並不都等於ν_0。因而在分光鏡中現出有寬度的光譜，而不再是一條明線，這就是都卜勒寬展。

利用都卜勒寬展，經由強度分佈計算其標準偏差，因而可推測出星球的溫度。

【量子】(Quantum)

在本世紀初浦朗克創立量子力學說(*quantum theory*)，構成近代物理學的基礎。這理論的要點在輻射能量的釋出或吸收並非連續的，每一個振子(*oscillator*)獲取或釋出的能，是間歇而不是連續的量，稱爲量子。一個量子的能量並非對於一切振子都相同，而是和釋出的頻率成正比。

量子亦可說爲量子學說中能量不可分割之最小單位，其值爲 $h\nu$ 。h 爲浦朗克常數(*Planck constant*)，其值爲 6.625×10^{-27} 爾格秒，ν 爲頻率。

【量子力學】(Quantum mechanics)

在古典物理的範圍內，要接受穩定態的觀念是相當困難的；若要接受拉塞福的原子模型，則可推論出，當一電子繞一原子之核廻轉時，其運動有切線加速度及向心加速度；此即，其運動爲加速度的，因此有人會認爲電子將繼續輻射能量，結果電子的能量將繼續減少，則其軌道必將縮小，這樣不可能有穩定態存在；然而，從未發現過物質縮小，也未發現過其能量會繼續輻射，因此並不遵循古典電動力學的預言，則可斷言一電子(或一帶電粒子)以一穩定態運動必受某些未曾考慮過的其他原理所支配，爲了探究這些原理，二十世紀初期的物理學家們發展出了一套與古典物理學迥然不同的理論，便是所謂量子力學。這是一種以高深數學公式表示，來研究基本粒子(電子、中子、質子)的性質和現象及它們在原子或分子中的交互作用。此學說承認任一粒子都有粒子和波的雙重性質，我們可以用所謂的波動方程式(*wave equation*)計算出這些基本粒子的集體可能存在的安定能階。這些波動方程式有一獨特的性質即其解的存在僅對某些不連續的能量具有意義，也就是說在一個系統中可能存在的能量是不能連續地變化的，其變化僅可循一一定的步驟，因此任何系統中的能階被稱之爲量子化。對任何基本粒子的集體，有一

最低的能量或稱爲零點能量（ *zero-point energy* ），我們能以這能量聯想到某些零點運動（ *zero-point motion* ）。

自此理論物理學家大部分的工作是關聯到建立一個合理的模型來解釋基本粒子間的互應作用，並嘗試著去解所對應的波動方程式，然後將計算出的能量和實驗所得的結果相比較。

始創期的量子理論大部分是依據著對光譜的觀察，再經理論的推敲與印證而成。這一學說能有今日，德布洛利（ *Louis De Broglie* ）、薛丁格（ *Erwin Schrödinger* ）、海森堡（ *Werner Heisenberg* ）、狄悅克（ *Paul Dirac* ）、波恩（ *Max Born* ），都是功不可沒，而集其大成者則爲狄悅克，其內涵是摘取波動力學與矩陣力學所共有的特點，並將之組合成一體系，用以產生不同形式的理論，此理論對處理微觀領域中的問題甚爲有用。例如在波動力學中，任何事物都以粒子的位置表示，但在散射問題中，對粒子的動量較爲重視，故若以動量表示任何事物的理論，將有助於處理此類問題。

首先說明系統的態（ *state* ）的觀念，任一系統其組成粒子依已知之力交互作用，則有許多運動形態可成爲薛丁格方程式的解，每種運動形態即稱爲此系統的態。量子力學的特點是可由其他態的重疊而構成新態，這種組合方法與聲波及光波由許多不同頻率的波所組成的情形相類似。光脈波可當著是由許多單頻率的波的重疊而處理，任何脈波都可由此方式產生，使用頻率組成並非唯一的方法，只爲了方便之故。同樣，量子力學也選一組基本態（ *basic state* ），所有其他態均可由這組基本態的重疊構成，各種不同的選擇方法，可得不同組的基本態，至於如何選擇，則視所處理的問題而決定。需要強調者是不同組的基本態對同一問題必須有相同的答案，基本態的選擇只爲計算方便而已。一組特選的基本態稱爲表象（ *representation* ）。若以已知表象的基本態做爲坐標軸，則形成一多維空間〔希伯特空間（ *Hilbert space* ）〕，可視態爲

此空間中的向量。任何物理量只與態及態間的關係有關，即是只與向量間的夾角有關，而與坐標系無關。

最常用的表象當爲波動力學中的能量（定態）表象，此表象的基本態爲漢彌頓（*Hamiltonian*）算符H的本徵態。重疊原理的數學表示爲：任一態的波函數Ψ都可寫成基本態ϕ_n的線性組合，即

$$\Psi = c_1(t)\phi_1 + c_2(t)\phi_2 + \cdots$$

式中係數c_1，c_2…爲時間t的複函數。在處理問題時，常先將所有波函數歸一化（*normalization*），即

$$\int \Psi^*(x)\Psi(x)dx = 1$$

這相當於只有表示一態的向量之方向才屬重要，而其長度無關緊要。在理論描述及處理實際問題時，常選擇相互正交之態爲表象的基本態，即

$$\int \phi_m^*(x)\phi_n(x)dx = 0 \quad (當 m \neq n 時)$$

換言之，即在希伯特空間選一正交坐標系。

以上只討論態的性質，茲再說明關於態的可觀察量（*observable*），諸如能量、位置及動量等。在量子力學中，任一可觀察量是以一算符代表，算符是改變一波函數爲另一波函數的數學符號，例如

$$\Phi = A\Psi$$

式中A爲算符，Φ及Ψ爲波函數，意即算符A將Ψ變爲Φ。基本算符如位置算符X_{OP}，改變波函數$\Psi(x)$爲$x\Psi(x)$；及動量算符P_{OP}，改變$\Psi(x)$爲$-i\hbar\nabla\Psi(x)$，即

$$X_{OP}\Psi(x) = x\Psi(x)$$

$$P_{OP}\Psi(x) = -i\hbar\nabla\Psi(x)$$

量子力學的算符都是線性算符，即任二算符A_1與A_2與任二波函數Ψ_1及Ψ_2，必須滿足

$$(A_1 + A_2)\Psi = A_1\Psi + A_2\Psi$$

及
$$A(C_1\Psi_1 + C_2\Psi_2) = C_1A\Psi_1 + C_2A\Psi_2$$

的條件，式中C_1及C_2爲常數（實數或複數）。代表可觀察量的算符都爲厄米特算符（*Hermitean operator*），即對任二波函數Ψ_1及Ψ_2

$$\int \Psi_2^*(A\Psi_1)\,dx = \int (A\Psi_2)^*\Psi_1\,dx$$

上式常寫成較簡單的符號

$$(\Psi_2, A\Psi_1) = (A\Psi_2, \Psi_1)$$

式中括號的量稱爲A的矩陣素（*matrix element*）。使用能量表象時，其基本態ψ_n有

$$H\psi_n = E_n\psi_n$$

的性質，即漢彌頓算符H只改變向量的長度而不改變其方向。以此方法選擇其他態爲基本態，是可能而且有用的，例如

$$P_{op}\varphi_n = P_n\varphi_n$$

式中φ_n爲動量算符P_{op}的本徵函數（*eigen function*），P_n則爲其本徵值（*eigen value*）。

量子力學的基本假設爲：若一系統屬於一算符（譬如A）的本徵態ψ_n，其本徵值爲A_n時，則對A所代表之量的任何量度結果將爲值A_n。若此系統的態不是A的本徵態，而爲歸一化波函數

$$\Psi = C_1\psi_1 + C_2\psi_2 + \cdots$$

時，則一次量度的結果將爲A的本徵值A_1，A_2，… 中之一，而多次量度的平均值將爲

$$\begin{aligned}\langle A\rangle &= (\Psi, A\Psi)\\ &= |C_1|^2A_1 + |C_2|^2A_2 + \cdots\end{aligned}$$

因此，認爲系統在ψ_1態的機率是$|C_1|^2$，在ψ_2態的機率是$|C_2|^2$等等。注意這些機率不是Ψ的展開式中的係數，而是係數的平方，這和波分量的強度或其所載的能量，與各分量波幅的平方成正比相類似。若系統是算符A的本徵態，通常此系統不是另一算符B的本徵態；故此系統不常是可同時預知A及B之量度值的態，這是測不準原理（*uncertain-*

ty principle)的說明。只有當二算符有相同的本徵態時，才能同時準確地測得二量，這可證明若二算符是對易算符(*commuting operators*)才有這種情形。定義二算符A及B之積為

$$(AB)\Psi = A(B\Psi)$$

這並不保證積AB及BA運算於Ψ將產生同樣的結果，事實上，它們也經常產生不同的結果。例如位置算符x_{op}及其相當的動量算符$P_{x_{op}} = -i\hbar d/dx$

$$P_{x_{op}} x_{op} \Psi(x) = -i\hbar \frac{d}{dx}[x\Psi(x)]$$

$$= -i\hbar[\Psi(x) + x\frac{d}{dx}\Psi(x)]$$

$$= -i\hbar\Psi(x) + x_{op} P_{x_{op}} \Psi(x)$$

故　$$(P_{x_{op}} x_{op} - x_{op} P_{x_{op}})\Psi(x) = -i\hbar\Psi(x)$$

這對任何波函數Ψ均為真，故可寫為

$$P_{x_{op}} x_{op} - x_{op} P_{x_{op}} = -i\hbar$$

上式左端稱為$P_{x_{op}}$及x_{op}的對易算法(*commutator*)，常寫為$[P_{x_{op}}, x_{op}]$。若A及B的對易算法為零，則A及B稱為對易(上例中，若將x_{op}換為y_{op}則$[P_{x_{op}}, y_{op}] = 0$)，如前所述，這是二算符可同時量度及擁有同組本徵態的條件。

另一類出現於量子力學中的重要算符是么正算符(*unitary operator*)。若算符A不是厄米特，則它有一厄米特共軛算符(*Hermitean conjugate operator*)或伴算符(*adjoint operator*)A^+，其定義為對所有波函數ψ_1及ψ_2，有

$$(\psi_2, A^+\psi_1) = (A\psi_2, \psi_1)$$

么正算符U的定義為

$$UU^+ = U^+U = I$$

即 $$U^{+} = U^{-1}$$

式中 I 爲單位算符 $I\phi = 1\phi$ ，U^{-1} 爲 U 的反算符，即 $UU^{-1} = U^{-1}U = I$ 。么正算符的重要性爲當它運算於歸一化而正交（歸正）的態集合時，產生另一這樣的集合，且任二態的純量積保持不變，即

$$(U\phi_2, U\phi_1) = (U^{+}U\phi_2, \phi_1)$$
$$= (\phi_2, \phi_1)$$

事實上，一么正算符運算於希伯特空間時，只轉動坐標軸（或向量）至另一方向，並不改變二向量間的夾角。故變換一表象至另一表向時，么正算符乃爲不可或缺的工具。處理一系統隨時間演變的問題，可爲運用么正算符的示例，此系統在任意時刻 t 之態，由其起始波函數 $\phi(0)$ 而定，其薛丁格方程式爲

$$H\phi(t) = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\phi(t)$$

狄悅克稱如此處理系統的方式爲薛丁格繪景（*Schrödinger picture*）。在 t 時的波函數以希伯特空間的向量表示，此向量的方向隨時間而變（長度不變），此向量可認爲是由其起始態（向量）藉一線性算符 $T(t)$ 的運算而產生，即

$$\phi(t) = T(t)\,\overline{\phi}(0)$$

當漢彌頓算符 H 不是時間的函數時（一般情況都是如此），則 T 有

$$T(t) = exp(-iHt/\hbar)$$

的形式，由此可見 T 爲么正算符

$$T^{+} = T^{-1}$$
$$= exp(iHt/\hbar) \quad (\text{注意} H^{+} = H)$$

算符 A 的矩陣素可寫爲

$$[\phi_2(t), A\phi_1(t)] = [T(t)\phi_2(0), AT(t)\phi_1(0)]$$
$$= [\phi_2(0), T^{+}(t)AT(t)\phi_1(0)]$$

即在 t 時 A 的矩陣素和用起始波函數 $\psi(0)$ 對 $T^{+}(t)AT(t)$ 所求得者完全相同。因此若定義

$$A_t = T^{+}(t)\,AT(t)$$

則可將該系統的依時性置於算符中，而將波函數視爲與時間不相關。A_t 的依時情形可證明爲

$$\frac{d}{dt}A_t = \frac{i}{\hbar}(HA_t - A_tH)$$

$$= \frac{i}{\hbar}[H, A_t]$$

這是 A_t 的海森堡運動方程式。量子力學與古典力學的相似形式，絕大部分由此觀點而來，狄悅克稱此觀點爲海森堡繪景（*Heisenberg picture*）。若 A_t 以其相當的古典物理量代替，且 $\frac{i}{\hbar}[H, A_t]$ 代以古典帕松括號（*Poisson bracket*）$\{H, A\}$，則上式卽變爲古典運動方程式。若 A_t 及 H 以矩陣素

$$A_{mn} = (\psi_m, A\psi_n)$$
$$H_{mn} = (\psi_m, H\psi_n)$$

之矩陣代替，則此方程式成爲它在矩陣力學中的形態。若算符 A 與 H 對易，則 A_t 也與 H 對易，故 A_t 與時間無關，其矩陣素與起始 $t=0$ 時的值相同，可觀察量 A 卽稱爲運動常數（*constant of motion*）。

【量子力學假設】（Postulates in quantum mechanics）

無論是波動力學（*Wave mechanics*）或矩陣力學（*Matrix mechanics*），可以找出共同合理的基本假設，作爲量子力學的基礎。因此可以發現雖然波動力學和矩陣力學在形式上表現的方法不同，可是在基本上是屬於統一的理論基礎。歸納此種基本的假設有四：

1. 對於任一物理系統，可以覓得一狀態向量描述此系統。此狀態向量爲構成線性向量空間中的一向量，它可以是狀態函數 ψ 的形式，也

可以是代數式的向量。

2.對於任何物理上可觀察的物理量 a，可以覓得數學上的厄米特算符與之對應，此算符 A 的方程式爲

$$A\psi = a\psi$$

a 稱爲本徵值，ψ 爲本徵向量，爲此物理量的狀態向量。因 A 爲厄米特算符，所以本徵值 a 爲實數，且不同本徵值的本徵函數均正交。

3.以實驗量度此物理量所得的結果，爲此本徵值，因爲本徵值爲實數，所以是可觀察的，且發現爲某物理狀態的粒子在某處 dV 的機率爲 $|\psi|^2 dV$。而發現此物理量的預期值爲此本徵狀態時的本徵值。

4.若已知一動力學系統（*dynamical system*）在某特定時間的狀態爲 ψ，則 ψ 在其他時間的值，可由下述方程式求得：

$$-\frac{\hbar}{i}\frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi$$

H 爲漢彌頓算符，這種表象稱爲薛丁格表象。在海森堡表象中，算符 Ω_H 對時間的變化爲：

$$\frac{d\Omega_H}{dt} = \frac{\partial \Omega_H}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar}[\Omega_H, H]$$

式中 $[\Omega_H, H]$ 爲

$$[\Omega_H, H] \equiv \Omega_H H - H\Omega_H$$

【量子穿隧】（Quantum tunneling）

在量子力學中，每一個粒子的運動，都可以用波動函數 ψ_0 表示。當粒子碰到位壘（*potential barrier*）時，如圖 12－276 在位壘另一邊能找到粒子的機率 P 爲

$$P = \psi_t^* \psi_t \cdot = |\psi_t|^2$$

式中 ψ_t 表粒子穿透位壘後的波函數。如果位壘很薄，或粒子的能量很大，則 P 的值也很大，因此有穿隧的現象，這就是量子穿隧。兩片金屬

被一絕緣體分隔，如果該絕緣體甚薄，則電子可由一片金屬穿過絕緣體，抵達另一片金屬。超導體間的電子偶（*electron pair*），也有穿隧的效應，這種效應稱爲岳瑟夫森穿隧效應（*Josephson tunneling effect*）。其他如半導體中，電子受外加熱能或電磁場的激發，在能帶與能帶之間，穿越能量間隙；或者輕原子受熱能的激發，穿透位壘的擴散，都屬於量子穿隧。

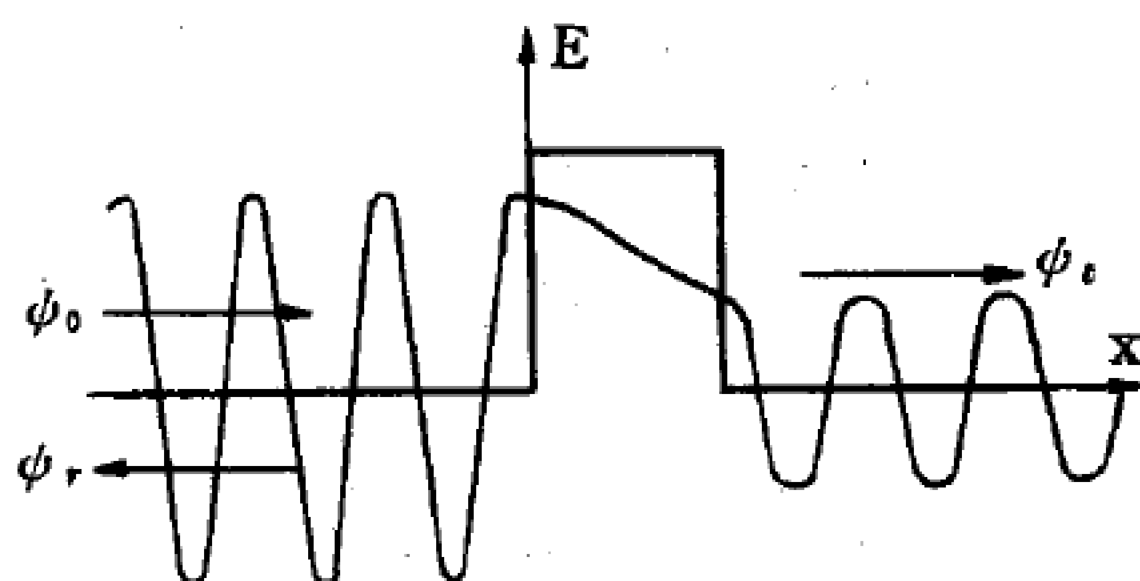


圖 12 — 276

【量子流體】（Quantum fluids）

超流體只有用量子力學才能解釋這種非常特殊的現象，故亦稱量子流體，或稱物質的第五態。

參閱“超流體（*Superfluid*）”條。

【量子統計力學】（Quantum statistical mechanics）

在統計力學裏，有一個重要的觀念就是狀態（*state*）。以古典力學的觀點來看，假若一個粒子在 t 時刻時，我們知道它的動量 p 及位置坐標 q，則由運動方程式可推算出此粒子在下一時刻的 p 及 q，此（p，q）便是描述此粒子的狀態。在統計力學裏我們認爲無論粒子受何種力而變化，在某一定時刻，它一定有某一種狀態；而當時間變化時，它或者保留原來的狀態，或由一狀態變成別的狀態。假若粒子受的力可以用古典力學來描述，這種狀態便以此粒子的動量及其位置來表示，但假若粒子之間的力學要用量子力學（*Quantum mechanics*）來描述，則其狀態就必須用別的參數來表示，如用波動函數（*wave function*），或用量子數（*quantum number*）等。也就是說，無論粒子受何種力，在任何時刻，粒子都有一定的狀態，而此狀態因受力而隨時間變化。假若改變粒子狀態可以用古典力學來描述，則由此而發展的統計力學

，便是所謂的古典統計力學（*Classical statistical mechanics*）；假若用量子力學來描述，所得到的便是所謂的量子統計力學。所以，假若有一天找到一種新的力學，就又會有另外一種統計力學出現。

【量子場論】（Quantum field theory；Quantized field theory）

所有的基本粒子均以不同的場代表，粒子和反粒子屬於同一種場。與古典場論不同的是這些場滿足某些對易關係的算符。古典場論和量子場論的關係與古典力學和量子力學的關係十分類似。

如一振動絃可以看成是由許多相距很近而數目有限的質點組成，這些質點的總自由度（*degree of freedom*）有限，它們的運動可以古典力學描述之。當質點的總數增到無限多時，其自由度也增到無限大，此時運動可用古典場論描述之，即將每一點的位移看成是場。古典力學加以量子化就成爲量子力學，自由度仍有限，但每一質點的位移和速度變成算符。場論加以量子化時，絃上每一點的位移和速度都變成算符，這些算符必須滿足某些對易關係。由量子場論可證明反粒子的存在及其性質（如質量必須和原來的粒子相同，但電荷的電性則相反等）以及*CPT*定理等。

【量子電動力學】（Quantum electrodynamics）

用量子化後的馬克士威方程式（*Maxwell equation*）和狄悅克方程式（*Dirac equation*）做工具，研究電子、正子和光子間交互作用的一種量子場論。創始人是日人朝永振一郎（*Sin-Ichiro Tomonaga*），及兩位美籍猶太人范曼（*Richard P. Feynman*）、徐文格（*Julian Schwinger*）。朝永在1942年先開始，他的研究因大戰的關係到戰後頗久才爲國際所共知，范曼和徐文格則在戰後分別獨立研究，得到許多新結果；他們三人同獲1965年諾貝爾獎。這理論最大特點是許多理論的計算與實驗結果完全一致，但是也有一些毫無意義的結果。後者

是由於利用微擾方法依精微構造常數（ $e^2/\hbar c = 1/137$ ）次方展開所得無限級數中出現了無數發散積分所致。這些無限大的積分可以看成是由於眞空態中有無限多負能量的電子。1948 年范曼和徐文格用完全不同的方法（後來證明這兩種方法是一致的）將這些困難避免，但困難仍然存在。他們的理論滿足羅倫茲（ *Lorentz* ）不變性，並將等於無限大的積分用明確的方法處理，特別是電磁場對電子電荷和質量的影響可用這些發散積分表示。他們發展出質量和電荷再歸一（ *renormalization* ）的方法，將許多計算結果用由實驗測出的質量和電荷來表示。

【量子漏】（ Quantum leakage ）

依照古典物理學以及普通常識，沒有東西能夠反抗超過其運動本來的能力而運動；也沒有人會相信一塊石頭由一小孩的手柔和地拋出而能滾過紐約大廈的屋頂！然而古典物理學和普通常識，二者都稍微有點弄錯了。目前我們知道此種現象之發生是可能的，只是出現的機率（ *probability* ）非常小，小到可以容許忽略的程度。因此不易爲人們所認出。類似這種反常現象而具有的高能量，使粒子能貫越障壁，便叫量子漏。由於物體所具的形狀愈小，貫穿的機會愈大，而那原子核世界中的微小質點如質子或 α 質點，對於障壁的量子漏，尤其是很普通的現象。縱令入射質點的能量遠比反抗其相對電力以貫穿障壁所必須的能量爲小，因而其漏也隨之而小，但仍不至於爲零，而且至少有若干貫穿而入原子核內的事情發生。然而假使質點的能量僅稍小於障壁的高度，則可預期其必有顯著的貫穿發生，入射的質點就得進入原子核內，好像完全沒有障壁的存在一般。

這種量子漏理論之應用於由原子撞擊而起的原子核變化問題中，於 1928 年開始發展，並得完全了解關於各種元素受變能的 α 質點撞擊所生人工變化上之拉塞福（ *Rutherford* ）實驗的根本原因。又量子漏的現象，在恆星的產能問題以及在以人工方法釋放原子能的種種可能性之

討論中，也都扮演著一個很重要的角色。

【量子論】(Quantum theory)

1900年由浦朗克(*Planck*)首創，其目的爲解釋黑體輻射(*black-body radiation*)的波譜。對於黑體輻射，古典電磁理論預測在波譜的高頻率端將聚集無限的能量。浦朗克藉熱力學的論據之助，得到經驗公式與實驗結果甚相符合；爲欲在理論上證明此公式，而導致新的觀念，以爲頻率 ν 的光由物質發射或吸收時，其能量只能是離散值 $h\nu$，而不是古典理論所容許的連續值。常數 h 稱爲浦朗克常數，其值爲

$$h = 6.625 \times 10^{-27} \text{ 爾格秒}$$

數年後愛因斯坦(*Einstein*)倡議這種能量的發射，並不是展佈的波，而是密集的小點像粒子一樣，這種粒子稱爲光子(*photon*)或光量子(*light quantum*)。愛因斯坦證明這種光子觀念能解釋光電效應，當光射至金屬表面上，即發射電子，電子的最大能量與光的強度無關，僅與光的頻率有關，這與古典電磁理論所述光波能量由其強度而定的結果大不相同。若束縛於金屬中電子的束合能爲 W，則能量爲 $h\nu$ (大於 W) 的量子使電子發射後其動能爲

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$$

事實上已發現如此，且可將相同的觀念用之於光化學反應。

愛因斯坦又倡議物體的振動應以相同方式量子化。愛因斯坦即能以之解釋杜隆、泊替定律(*Dulong-Petit's law*)失效的原因，此定律謂所有物質的克分子比熱爲 $3R$ (R 爲氣體常數)，在低溫時所有比熱均較此值小。若固體的原子以頻率 ν 振動，則量子論預料比熱應爲

$$C = 3R\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2 \frac{e^{h\nu/kT}}{(e^{h\nu/kT}-1)^2}$$

式中 k 爲波茲曼常數(*Boltzmann constant*)，T 爲絕對溫度。由這

式所得的值在高溫時趨於 3 R，在低溫時趨於零，因而在性質上與實驗符合。德拜（*Debye*）更進一步發展此理論，考慮到固體的振動頻率有一範圍，而能導得在低溫時

$$C \propto T^3$$

這稱爲德拜T^3定律。

量子論最重要的一大進展是波爾的原子結構理論。在1900年代初期，已有極多元素光譜的數據可資利用，由這些數據中顯露若干重要的特性，其中最顯著者當推瑞茲並合原理（*Ritz combination principle*），發現在某元素的光譜中若呈現兩頻率ν_1和ν_2，則其組合$\nu_1 + \nu_2$及$\nu_1 - \nu_2$亦常出現，由此而生項值（*term values*）的觀念。對原子可配以一組項值，使任何測得的頻率即能以二項值的差表示之。另一察覺的規則性是譜線系，例如氫原子的巴耳麥系（*Balmer series*），其頻率爲

$$\nu = 常數\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right)$$

式中n爲整數。

拉塞福（*Rutherford*）在1911年發現原子的原子核比原子本身小得多（現已知約小10^5倍），這暗示原子的形像似是小型的太陽系，電子就是行星，環繞巨大的力心轉動。此發現爲波爾的理論闢出坦途。

波爾的原子理論以三個假設爲基礎，其假設與上述之愛因斯坦理論相關：

1. 定態（*stationary states*）——原子只能在某些定態存在，各定態有一定不變的能量，譬如爲E。在兩定態之間的躍遷以跳躍式發生，此時發射或吸收的能量爲$E_1 - E_2$。

2. 頻率定則（*frequency rule*）——在跳躍時發射或吸收輻射的頻率爲

$$\nu = (E_1 - E_2)/h$$

式中 h 仍是浦朗克常數。

3. 量子化定則（ *quantization rule* ）——電子在圓形軌道上的角動量限於爲 $\hbar$ （ $=h/2\pi$ ）的整數倍。

此三定則與根據古典力學所預料者完全不同，電子繞原子核運動時，古典理論認爲電子將連續輻射，一直損耗能量，成螺旋狀至達原子核爲止。顯然波爾的三定則已概括瑞茲並合原理。

由這三定則不難推導氫光譜的頻率。若電子環繞氫原子核，在半徑爲 r 的圓形軌道上運動，其速度爲 v ，靜電吸力與離心力相平衡，則

$$mv^2/r = e^2/r^2$$

上述第三定則爲

$$mvr = n\hbar$$

式中 n 爲整數。則

$$v = e^2/n\hbar$$

且總能量爲

$$E=\frac{1}{2}mv^2-\frac{e^2}{r}=-\frac{1}{2}mv^2=-\frac{me^4}{2\hbar^2}\ \frac{1}{n^2}$$

氫原子的頻率則爲

$$\nu=\frac{me^4}{4\pi\hbar^3}\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

當 $m=2$ 即得巴耳麥系，上式與實驗所得全部光譜極相符合。

這三定則的缺點是僅規定對圓軌道量子化的法則。威爾遜、左末菲定則（ *Wilson- Sommerfeld rule* ）將上述第三定則推廣，使能對任何週期軌道量子化。若一系統從事週期運動，其坐標爲 q_1， q_2，… ，共軛動量（ *conjugate momentum* ）爲 p_1 ， p_2 ，…，則作用積分爲 h 的整數倍，即

$$\oint p_k\, dq_k = n_k\, h$$

式中符號$\oint$代表係就運動的一整週期積分，n_k 為整數，即是系統的量子數。由此積分式可導得波爾的定則，適當的坐標是轉動角θ，其共軛動量是角動量l，繞圓軌道時l為常數，作用積分則恰為

$$\int_0^{2\pi} l\,d\theta = 2\pi l = nh$$

故得

$$l = nh/2\pi = n\hbar$$

此定則使對電子的橢圓軌道能予考慮。對應於電子的三個坐標有三個量子數，由波爾公式，主量子數n決定電子的能量；角量子數（*azimuthal quantum number*）k表系統的總角動量為 $k\hbar$；磁量子數m決定角動量沿特定軸上的分量值，即橢圓在空間中的方位，只當能設法分辨在空間中的方向時，例如對原子施以弱磁場時，磁量子數才有意義。因角動量的分量不能大於總角動量，故應有$k > m$。橢圓的形狀由比率n/k而定，此比率等於橢圓的長軸對短軸之比，故又有$n \geq k$的條件。

故對一定n值，則有一定的能量，電子可能有數種軌道。若有電場或磁場時，顯然各多重能階劈裂成分階，各階能是稍有差異，由此必然生成譜線。這對史他克效應（*Stark effect*）及則曼效應（*Zeeman effect*）已予性質上及部分數量上的解釋。

以相同的概念可用於其他有週期性質的系統，諸如諧振體和轉動分子，並可說明分子的紅外線光譜。但對與原子及分子有關的光譜尚有若干疑難，須待量子力學發展之後，才能圓滿解決。

量子論也能解釋原子的X射線譜，若干比氫複雜的原子所呈現的譜線系，及譜線的精細結構，且相當成功。量子論又提供對瞭解元素週期表的基礎，及對化學束合性質的最初線索。

早期量子論的一大缺點是無法計算譜線的強度。波爾的對應原理（

correspondence principle)提供了部分的方法，此原理是對系統依照量子論的行徑與依照古典理論的行徑之間的關係，所作的假設。特別是當量子數極大時，對應原理能證明這兩種理論所述的躍遷頻率相同。又假設強度也遵循此定則，此時可推度至小量子數的範圍。在創立選擇定則時，對應原理尤其重要，選擇定則規定某躍遷是否發生，例如可證明當兩態間的角量子數 k 相差爲 0 或± 1 時，才有躍遷。

量子論雖然極爲成功，但仍有不少困難之點。例如爲使與實驗相符，常須引用半整數的量子數，對譜線強度或非週期系統的處理不盡滿意等。後來發展成功的量子力學，就解決了這些困難。

【量子數】(Quantum number)

詳閱“波爾氫原子模型 (*Bohr hydrogen atomic model*)”條。

【量子數欠缺】(Quantum defeat)

我們常用一方便的記號來表示一個原子的能階，如果就多電子的原子而言，把原子中電子的角動量加起來，而以大寫的 S , P , D , F ……等等表示總軌道角動量是 0 , 1 , 2 , 3 ……。而將其總自旋角動量以數字 $2s+1$ 附在左上角，s 爲總自旋，總角動量以數字 j 寫在右下角，即是

$$^{2s+1}X_j$$

舉例來說，如果某原子之總角動量爲 $\frac{3}{2}$，總軌道角動量爲 2 ，自旋爲 $\frac{1}{2}$，則以

$$^{2}D_{\frac{3}{2}}$$

來表示。

若原來的電子爲 np 及 $n'd$ (n 及 n'均爲整數)，其總自旋可以爲 1 與 0 ，總軌道角動量可以是 3 , 2 , 1 。對自旋 0 之狀態其總角動量有 1 , 2 , 3 。因此有 $^1P_1$, $^1D_2$ 及 $^1F_3$ 三狀態，對自旋 1 角動量 1 之狀

態，總角動量有2，1，0 ，所以有 $^3P_2$，$^3P_1$，$^3P_0$ 三種，對 $s=1$，$l=2$ 的有 $^3D_3$，$^3D_2$，$^3D_1$，對 $s=1$，$l=3$ 的有 $^3F_4$，$^3F_3$，$^3F_2$。

因爲多電子的原子問題，相當複雜，所以目標都限制在單電子以及類似單電子的原子。鹼族金屬原子最外層軌道具有一個電子，而內層之各電子其總角動量耦合成爲零，這些電子像一些金屬殼子一樣將原子核的電荷屏擋起來，因此就這個最外層電子而言，其原子核對它之有效電荷是原子核的電荷減掉其屏擋之電子電荷，因爲原子是中性的，正像是氫原子一樣，不過這屏障當然不可能很完全，所以這有效的電荷並不是整數，爲了與氫原子的光譜相對應起見，我們將這些能階以

$$E_n = -\frac{R}{(n+f)^2}$$

來表示；n 是一個整數，f 爲一分數，R 即是芮得柏常數（*Rydberg constant*），f 稱爲量子數欠缺，此項是用來彌補屏障不完全所發生之影響。很顯然地，外層電子的角動量會影響到它所受的有效電荷，因此，f 是角動量的函數。

由這些，再加上從對應原理（*correspondence principle*）所討論出來的選擇定則（*selection rule*），$\Delta l=\pm 1$，我們可以知道四種光譜線系的來源，即是

P 線系　$\bar{\nu}=1S-nP$　$(n=2,3,4,5\cdots\cdots)$

S 線系　$\bar{\nu}=2P-nS$　$(n=2,3,4,5\cdots\cdots)$

D 線系　$\bar{\nu}=2P-nD$　$(n=3,4,5,6\cdots\cdots)$

F 線系　$\bar{\nu}=3D-nF$　$(n=4,5,6,7\cdots\cdots)$

其中 nS，nP，nD，nF 能階各爲

$$nS = -\frac{R}{(n+S)^2}$$

$$nP = -\frac{R}{(n+P)^2}$$

$$nD = -\frac{R}{(n+D)^2}$$

$$nF = -\frac{R}{(n+F)^2}$$

S, P, D, F 各爲分數。在氫原子時，這些分數均爲零。

【量度】(Measurements)

物理學的構思都由經驗所引導，其發展則有賴於將觀察與假說所得的結果經常予以比較，所得結論要與先前的觀察結果協調一致，由此而論，物理學就是實驗科學。科學實驗乃是精巧設計，將物理物體的種種行徑，儘量清晰地表現出來，便於比較及研究。在物理學的研究中，物理學家的理論方法誠然極爲複雜，但是實驗方法也常是精心傑作。這由於現代的物理學實驗有兩大特色之故，一是需要產生非常的情況，例如有極高能量的粒子射束；一是使觀察的現象不受任何干擾，例如在極純淨的晶體中研究某些固體的現象，以及需要高度眞空的研究設備。

物理實驗的結果常是一套數值的數據，以之與理論的計算結果相比較，或與另一套實驗數據相比較。數值結果的可靠性就可判斷實驗的價值，理想的實驗結果是在不受外界的任何干擾時量取所需的量，這與通常的實驗結果有所差異（誤差），數值結果就由這種差異的機率而定。

最容易估計及消除的實驗誤差是無規誤差（*random error*），這是由於外界的擾亂和內在的無規起伏（*random fluctuation*）所致。若重複實驗，得到不同結果，即可區別無規誤差；若重複許多次實驗，則所得平均值之差異隨實驗次數的增加而減少。顯然減少無規誤差實與取平均之法有關，現已有妥善的實驗及數學方法估計誤差，以及最經濟的方法減少誤差。

更嚴重的困難是決定實驗的情況與理論假設的情況相符合的程度。在實驗時常有系統誤差（ *systematic error* ）出現，這是若干不必要的外界或內部因子與待研究的系統交互作用所致；實驗物理學家的特別技巧在設計減少或計算系統誤差，以減少或消除實驗情況與假設情況的差異。當然，實驗應該小心謹愼，並且一再就理論上檢討，研究可能的干擾效應。從事附屬的實驗，或有意改變實驗情況以探測干擾。有時甚至設計完全不同的實驗以量取所需的物理量，或證明理論的結論，希望獲致大不相同的系統誤差。物理學的大部分基本觀念以及所用的大部分重要的數值量都是依靠大量的實驗基礎，不是只靠一次實驗。當然，有時一次的實驗卽對理論有決定性的影響，例如吳健雄等對在低溫時鈷-60 的貝他衰變實驗，就證實在弱交互作用中宇稱性不守恆的理論。

在實驗中各事件在原則上都與外界相耦合，這種耦合會導致系統誤差或無規誤差。實驗中與外界有機械、熱或電磁等耦合，以及輻射或核粒子的侵襲等。這些干擾的時變性（ *time variation* ）頗爲重要，自發的變化（基本噪音）與干擾結合而生時變性。例如輻射探測器的有效靈敏度，就因探測器與緊鄰四周的輻射交換之起伏不定，而受限制；若在低溫度時操作卽可減少起伏。

進行實驗量度必須設法減少甚至隔絕外來的干擾，如減低機械振動、保持熱效應穩定、避免磁性干擾、消除靜電及電磁的侵擾等。使用的方法很多，而且在繼續不斷的發展改進，使實驗情況與理想情況儘量接近。

量子力學中的不準量（ *uncertainty* ）極限是量度中最基本的極限，因測不準原理謂不可能同時且精確地測定屬於正則對的物理量，諸如能量和時間、動量和位置，均屬於正則對的量，不能同時精確量度。實際上許多量度受到起伏粗略的影響比量子限制還大。

量度除了方法與儀器之外，還需要單位。例如量取高度需要的刻度

尺，公定的單位決定刻度的長短大小。物理學家們認爲所有的物理量都可用質量、長度和時間三種基本量推演而得。其他物理量，例如速度，係由長度和時間兩基本量所定義；動量由運動物理的質量與其速度的乘積定義之，這些都是導出量（*derived quantity*）。量度導出量，只要測定有關的基本量即可。

所有物理量都定有單位，以便表示量得的數據。現代爲便利全球性科學資料的交換與傳佈，國際會議已爲物理量的名稱和符號予以標準化。1960 年在巴黎召開的度量衡大會決定採用國際單位制（*International System of Units*縮寫爲*I.S.U.*），此制所定的四個基本量及其單位與符號如下：

長度	米	*m*
質量	仟克	*kg*
時間	秒	*s*
電流	安培	*A*

這些單位的標準，都有詳細的規定，以作爲量度及校準的依據。由於科學技術的進步，這些單位標準的精密已大爲增加。

【量熱計】（Calorimeter）

又稱爲卡計，用來測定物質的熱量或比熱時所使用的裝置。平常都使用水量熱計，如圖 12—277 所示。量熱計裏面有銅製的容器，容器中設有溫度計和攪拌水用的攪拌器。周圍的壁上用軟木或氈毛等圍繞，藉以防止熱的逸失。

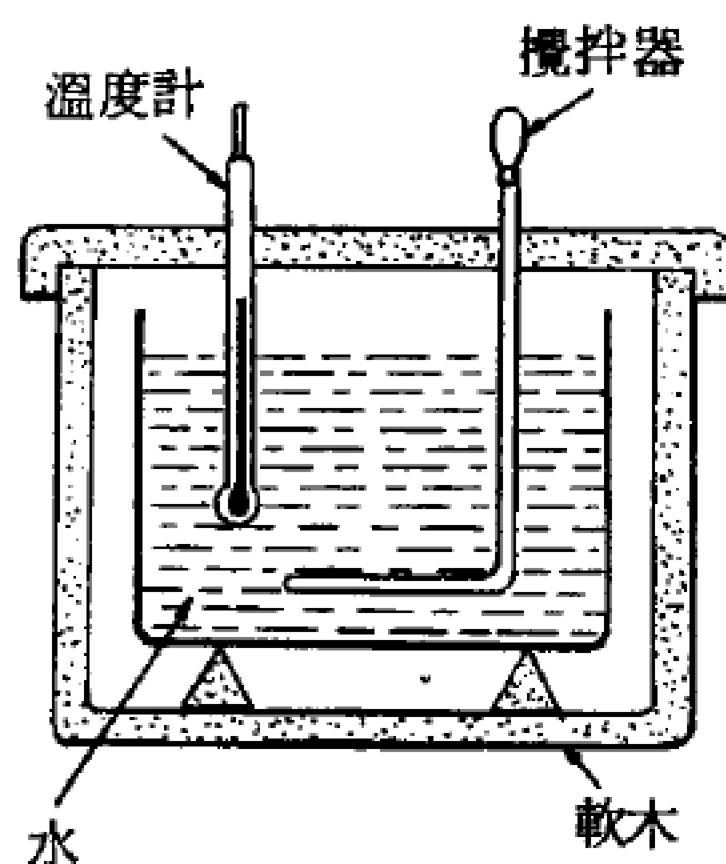


圖 12—277　量熱計

【量熱學】（Calorimetry）

研究熱量如何測定之技術，名爲量熱學。

【量糖術】(Saccharimetry)

於一偏振儀器之二正交稜晶之間，置入一循垂直於晶體主軸方向切成之石英片，即可使原先黑暗之視場，重現光明，可見振動平面(與偏振面)是被石英片所轉過了。

與此相同，只要在起偏鏡與檢偏鏡之間放置一試管之糖溶液，亦可使偏振面發生轉動。並且由於轉動度數的多寡(除糖以外，尚有甚多之其他質素可以引起此類轉動)，即可測定溶液中所含糖分之高低，故稱作量糖計或旋光糖量計。

由於各種糖溶液之光轉偏振係數不因其中之雜質而改變，故欲知其濃度時之手續常名爲量糖術。

參閱"旋光糖量計(*Saccharimeter*)"條。

【鈣光斑】(Flocculi)

在太陽表面上由鈣元素所發出的亮斑。

【鈦】(Titanium)

原子序爲 22 之金屬元素，在地球外殼層內藏有的結構金屬中，鈦的藏量豐富，僅次於鋁、鐵和錳等金屬藏量而居第四位。世界各地都可以找到鈦，存在於許多礦岩之中。土壤、陶土和黑砂之中，也可以找到或多或少的鈦。含鈦最多的礦物是金紅石(*rutile*)和鈦鐵礦(*ilmenite*)。現在採取的金紅石幾乎都從砂石中取得。鈦鐵礦藏量比金紅石多，來自岩石及砂石之中。產量極多，從它之中提出二氧化鈦，再精鍊後便獲得鈦。金紅石中含鈦多於鈦鐵礦，價值較高。

鈦相當的輕，介於鋁和不銹鋼的重量之間。鈦比鋁重百分之六十，但是比鋼合金輕百分之四十五。它和普通各種鋼料一樣強靭，可用以替代不銹鋼，且具有極佳的延展性。

鈦合金的抗疲乏性能，比鋁高，也比鋼高。它不受揮發性酸類的腐蝕，防止鹽水和其他空氣之腐蝕，勝過任何其他金屬。

在極低和極高的溫度中，鈦非常有用。它的熔點非常高（比鋼還要高）在華氏一千度的高溫中仍能照常應用。這一特性使它十分適合於製造太空乘具的需要。

航空工程師們設計飛機結構時，遇到要用在高溫中比鋁合金更強韌的材料時，一直都用沉重的鋼合金。鋁合金在近華氏三百度的溫度中迅速喪失它的強度，使我們不得不採用不銹鋼來製造像防火板和導管之類的零件。現在工程師們喜歡用鈦，因爲它輕而強韌，比現有飛機中用的鋁合金更能忍受高熱。美國目前生產的鈦，四分之三是用來製造噴射引擎中的壓縮環和推進葉片的。鈦也被用作噴射引擎外面的防熱板，尾管以及引擎艙的防火壁。不久之後，鈦及其合金將被各飛機製造廠廣泛大量採用作機身骨架和機翼外層用的原料。

空軍工程師們認爲採用鈦之後，可以設計製造遠比現有飛機飛得更快、更遠、而且更便於操作的飛機。它的特質最適於製造超音速運輸機、高性能飛機、火箭以及飛彈之用。

生產飛機機身的廠家，採用鈦來製造飛機防火板、飛機外殼層、降落輪部件、水力設備管子、油箱和引擎支架之類的東西。

飛機動力設備中主要用鈦的有壓縮器圓板及薄片，壓縮機外箱和防護環。接合螺絲也是用鈦鑄造的。

這種新金屬也大量用來製造飛彈和太空乘具的部件。美國第一步載人軌跡內太空飛行中用的水星太空船，大部分是用鈦製成的。由於它性能可靠，在雙子星座二人太空船中也大量採用這種金屬。美國第三步載人太空飛行中用的太陽神太空船，預料也會採用大量的鈦。

鈦也是製造軍械的上好材料。美國陸軍採用它製造堅固、輕便、空運的武器。軍火專家們說假使我們採用鈦來製造火箭和砲彈，就可以發射得更遠。鈦和它的合金，將來可能被用於製造輕便軍用橋樑、大口徑武器的發射管，以及坦克和貨卡用的裝甲板。

除了造飛機、飛彈以及供太空探究種種用途之外，鈦還有許多商業性用途。化學工業和電鍍工業部分消費的鈦，爲量日漸增加。外科用具、正骨用具、以及紡織機器製造商們也在考慮採用這種金屬。二氧化鈦是鈦的化合物之一，應用於油漆、塑膠、紙張、地氈、橡皮、加塗料的織料、紡織品及其他製品之中。四氯化鈦被用來在空中寫字和散佈烟幕。粉狀的二氧化鈦，噴吹過極熱的火焰，經熔解後又硬結成人造珠粒，反射率極高，鈦結晶體雖然沒有鑽石那麽硬，但是比鑽石明亮。鈦雖然具有這麽多優點，但是很難提鍊，而且費用極昂，1946 年美國礦冶局顧問克羅爾才發現一種合適的提鍊鈦的方法。克羅爾氏的提鍊方法中，應用氯來製成厚重無色的液體。把這種液體放入一個灼熱的容器內，和熔解的鎂混合，容器內覆有氬或其他不活潑性氣體，隔絕空氣，使鈦無法吸取氧和氮。鎂和氯結合成氯化鎂，剩下來的便是像海綿一樣的鈦。

這海綿狀的東西，在電熔爐中熔化（這時還得用氬氣來防止它和空氣接觸），鑄成鈦塊，但是這樣還難免使鈦不從熔爐的隔板上吸取一些碳。要防止這種現象發生，可以用水冷式銅隔板來代替普通隔板。

生產鈦的過程中，鎂和氯化合時所起化學反應，會發生熱。大量生產鈦的海綿體並無好處，因爲這過程中發放的熱越多，就需要越長的時間來使它冷卻。許多冶金公司現在在研究如何用連續電解法來減低成本，同時增加生產。

美國礦冶局也在繼續它的研究工作。該局曾在布爾德城實驗所中試驗了一連續電解法，並沒有成功。現在該局正在建設新的機器，打算根據同一理論，再進行一次大規模的試驗。

鈦製成塊或板等形狀後，如果要焊製時，也會發生困難，因爲把溫度提高到可以進行焊工時，鈦的表面便會氧化，必須在充滿了像氦那樣不活潑氣體的容器中進行。

鈦很難用普通方法和其他金屬焊接，但是採用燒焊、超音波焊接、

雷射線焊接以及電子線焊接等方法來使它和其他金屬接合，已頗有成績。

鈦的用途雖然如此廣泛，但還有許多問題尙待解決。沒有解決的問題中包括：

1. 怎樣在不影響製成品的素質條件下減低生產鈦金屬的成本。
2. 怎樣更有效、更經濟地提取鈦成分。
3. 怎樣改良生產純鈦的過程。
4. 怎樣改善熔化及鑄型技術。

科學家們對伸延性鈦、鈦熔接品和鈦合金等作工程用途時性能如何，也需要進一步的瞭解。他們要深入瞭解鈦的延展力，看它能伸延到什麽程度而不致碎裂，能忍受疲乏到什麽程度。

礦冶局的官員們說，要充分發揮這一太空時代金屬的優點，一定要先解決這許多問題。

美國礦冶局對鈦的未來發展，有如下的看法：

鈦的發展太快，生產及應用方面還有許多問題沒能及時解決。我們需要進行更多的研究來消除它的弱點。生產技術必須大加改良，而各種鈦合金的性能，也要詳加研究。加工、拖拉、澆模以及焊接等方法都必須改良。鈦礦藏量豐富而易於採取，鈦又可以替代含有鎳和鉻（兩者均極稀有）的各種合金，因此我們正努力研究如何減低成本。

科學家們一致認爲有一天鈦在各種結構金屬中會佔有一定的地位。它的地位如何重要，則尙有賴於技術的改進。

【鈧】(Scandium ; Sc)

爲週期表中第三族土族元素，原子序爲 21 。爲銀色金屬，熔點爲 1,539°C，沸點 2,727°C，比重 3.02 。其鹽均無色。

鈧在鎢錳鐵礦（ $4FeWO_4 \cdot MnWO_4$, *wolframite* ）中含有微量，鈧不屬稀土族，但與稀土金屬性質甚相似，亦常與其共生。鈧的存

量稀少，用途不廣。其人工製造的放射性同位素用作石油工業中鑽井及輸油管中的示蹤劑。

【鈉 - 24】(Sodium - 24)

正常的血液內約含1%左右的氯化鈉或通常的鹽類，因此可利用鈉 - 24來作血液或其他液體的各種量度。圖12—278就是用來說明這種技術；把鈉 - 24化合成的氯化鈉溶液，取一些樣本由大腿或手臂的靜脈注入，這些放射性的鈉同位素鈉 - 24抵達身體其他部位的時間可用一些有罩護的放射線探測計數器偵檢出來，從注射到量度所經過的時間之長短，正是我們的循環系統是否有束縛物或阻礙的最佳指示。

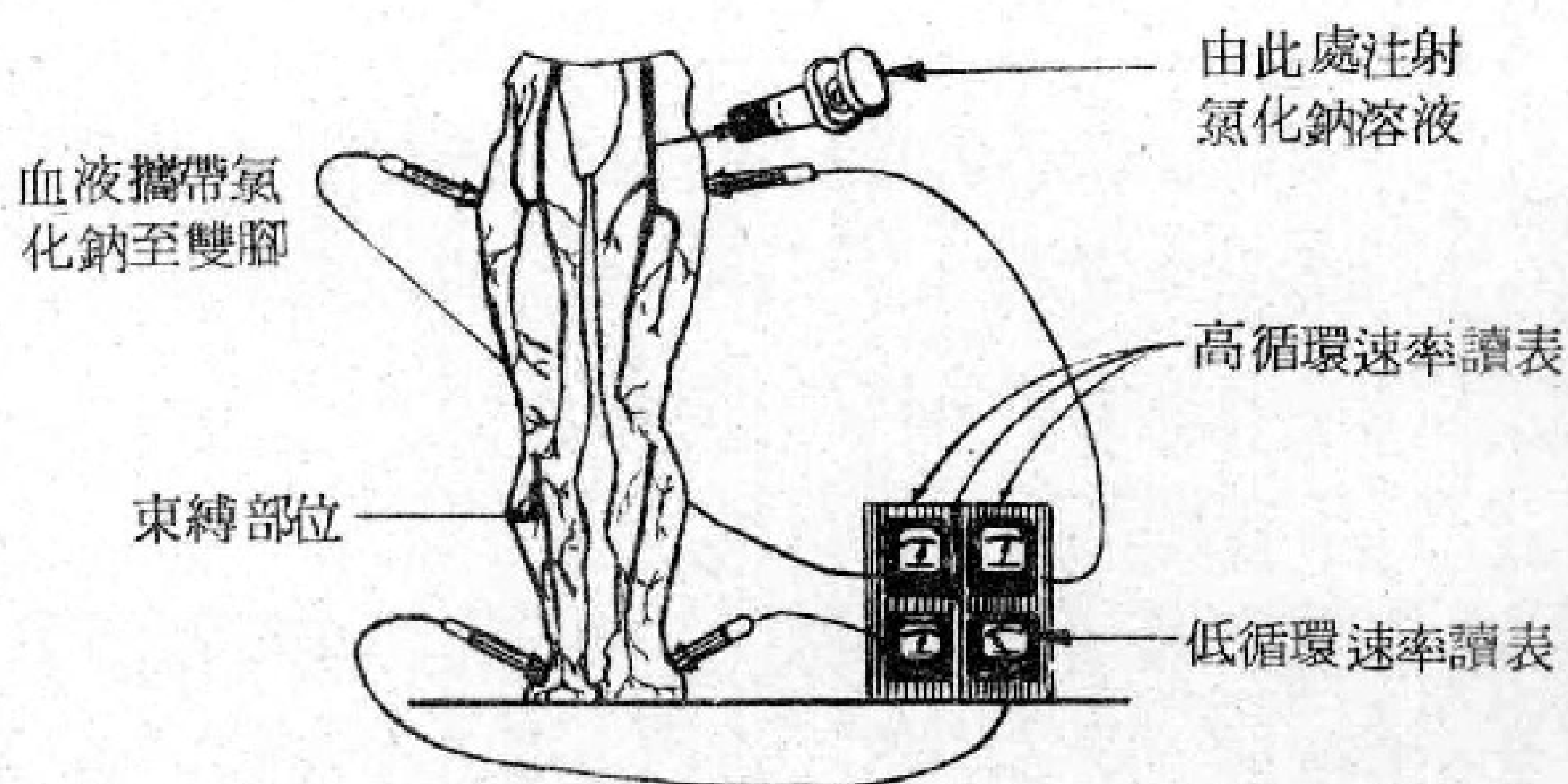


圖 12 — 278

血液流經心臟的途徑也可藉鈉 - 24 測定出來。因爲這個放射性的鈉同位素會發射 γ 射線，所以量度的工作可以把計數器放在體外心臟各部位適當的位置上來施行。如圖12—279 。

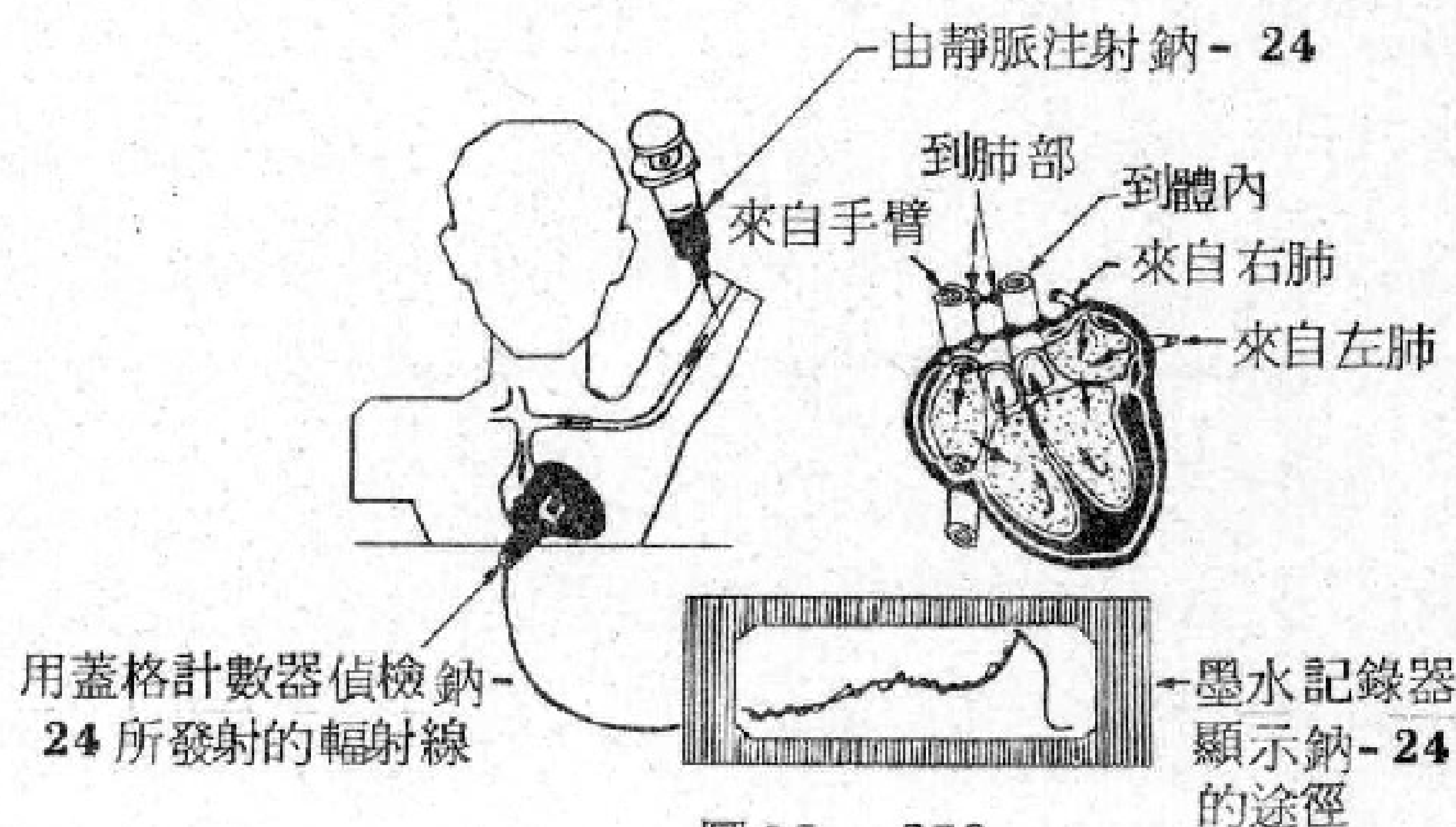


圖 12 — 279

【鈉反應器】(Sodium reactor)

此型反應器所用的唯一金屬爲鈉。此型之第一座反應器名實驗用鈉

反應器 S.R.E.(*sodium reactor of experiment*)，於1957年建於美國加州聖達蘇薩納(*Santa Susana*)。所用燃料爲低度濃集金屬鈾，可達 1,200 *MWd/t*。1959 年改用鈾、釷合金，前者爲 7.6 % 濃集品，後者爲 93 %。使用鈉在合金及不銹鋼鞘套間可得一良好之熱交換。第二座反應器在 1964 年建造，所用之燃燒量可達 5,000*MWd/t*，經改進後功率達 20 至 30 *MWth*，且流出之鈉溫度達 510 ～ 650° *C*，經此改良，將能產生電力。第三座之燃料，使用碳化鈾。

第一座此型動力反應器稱爲 H.N.P.F.(*hallam nuclear power facility*)，建於美國內勃拉斯加州(*Nebraska*)之哈朗(*Hallam*)。其電功率爲 76 *MW*。使用弱濃集(3.6 %)鈾製成含鉬 10 % 之鈾 - 鉬合金，此爐於 1962 年八月開建，但嗣因發生意外，至 1963 年七月始達完全功率，至 1964 年八月總功率達 1,200 *MWd/t*，第二爐心乃採用碳酸鈾。

此型反應爐由國際原子公司所建造，但未受實益，而遭若干挫折，似應收率甚佳，預計爲 42 %，因在第二循環中可得高溫。

鈉石墨反應器 S.G.R.(*sodium-graphite reactor*)之一般情形，曾做多項研究。此爐有 200 ～ 1,000 *MWe*，預定使用碳化鈾，對高溫初次使用此燃料便表現優異。

在蘇聯有一 50 *MWe* 之此型器將在烏里耶諾弗斯克(*Oulyanovsk*)建立。

用此型反應器可用以研究液態金屬燃料反應器 L.M.F.R.(*liquid metal·fuel reactor*)已在美國布洛海文研究所進行中，乃將 1 % 之鈾熔入在石墨管道中流通的熔融鉍流體中。

美國工程師曾研究使用半流體燃料之可能性。即將鈾之碳化物或氧化物懸浮於鈉或鉀化鈉(*NaK*)中成爲半流體。裂變物之顆粒可留存器中，部分沉積金屬則循環流通，例如布洛海文研究所曾建造一澄清床反

應器（*settled bed reactor*）以及洛斯阿拉摩斯（*Los Alamos*）實驗所研究用眞正均質漿狀燃料的反應器（*paste blanket reactor*）。

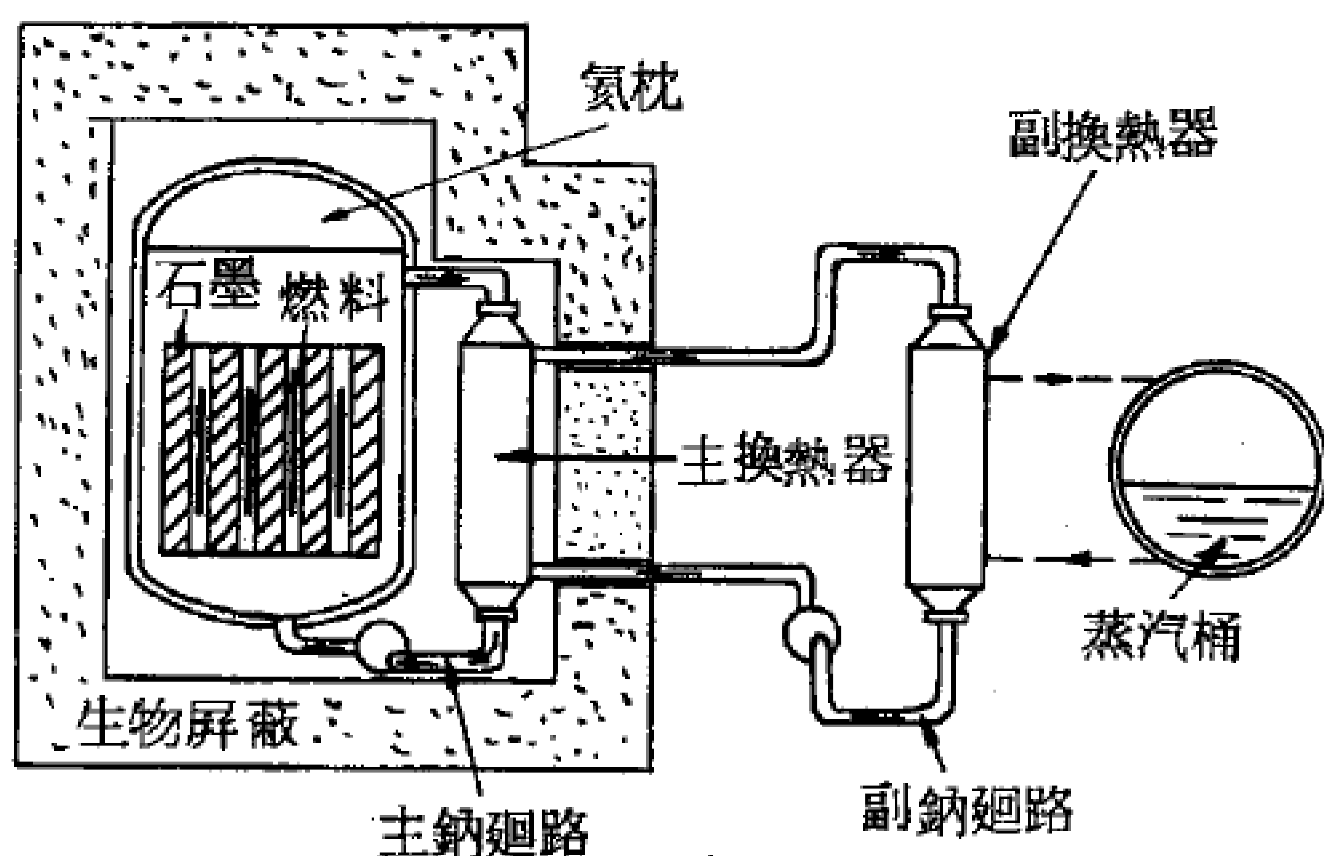
此外尙有更猛烈的反應器係以沸熱的鉀輸送UO_2，例如在橡嶺（*Oak Ridge*）的中等功率實驗器（*medium power reactor experiment*）。

此型反應器甚綿密，將來可爲太空引擎之發電機用。

【鈉石墨反應器】（Sodium-graphite reactor）

一種利用液態鈉做冷卻劑，石墨作緩速劑的反應器。此種熱反應器，含有腐蝕問題，如圖 12 — 280 所示。石墨緩速劑對於鈉的防護方法是把這緩速劑放在由元素鋯（*Zr*）製成的套子以內，或者用不銹鋼的組成件使之隔開。對富厚的燃料，則可用元素鈮（*Nb*）或鈹（*Be*）被覆之。

鈉石墨反應器的設計如與畢巴式反應器相比較，唯有在較小心子上所節省的資本費用，能抵銷得了使用富厚燃料及建造材料所增加的投資，才能具有經濟的利益。此外，由於換熱器較小，而有可能獲致較高的工作溫度，因此也可節省一部分資本費用，但須注意的，這種反應器的設計，乃需要一套雙換熱器系統。



中子：熱；緩速劑：裝在鋯（Zr）罐以內的石墨塊，或和冷卻劑隔開的石墨管子。管子可以用鋯或不銹鋼；燃料：最初爲輕微富厚的鈾，以後可能由鈽（Pu）富厚過的鈾所代替；容納：燃料桿，密封在鈮（Nb）管或鈹（Be）以內；冷卻劑：液態鈉（Na）；溫度：不明；壓力：不明；目的：動力。

圖 12 — 280　鈉石墨反應器

但液態鈉（*Na*）的化

學作用非常活潑，預防鈉與水兩廻路間由於洩漏而引燃的危險，所費並不小。又由於中子每易爲液態金屬和建造組成件所吸收，故中子的節約程度較低。

【鈉的D線】(D lines of sodium)

鈉（Na）爲鹼金屬，有一個價電子，其光譜（如圖12—281）爲雙線構造。其主線系是由^2P態躍遷至基態$^2S_{\frac{1}{2}}$所產生。^2P項爲雙項$^2P_{\frac{1}{2}}$及$^2P_{\frac{3}{2}}$故均爲雙線，由分光鏡中所見到的兩條明顯的黃線稱爲D線，其波長分別爲

D_1線　$\lambda = 5,895.93\ \mathring{A}$

D_2線　$\lambda = 5,889.96\ \mathring{A}$

D_1線是由$3\,^2S_{\frac{1}{2}} \sim 3\,^2P_{\frac{1}{2}}$。$D_2$線是由$3\,^2S_{\frac{1}{2}} \sim 3\,^2P_{\frac{3}{2}}$的躍遷所造成。

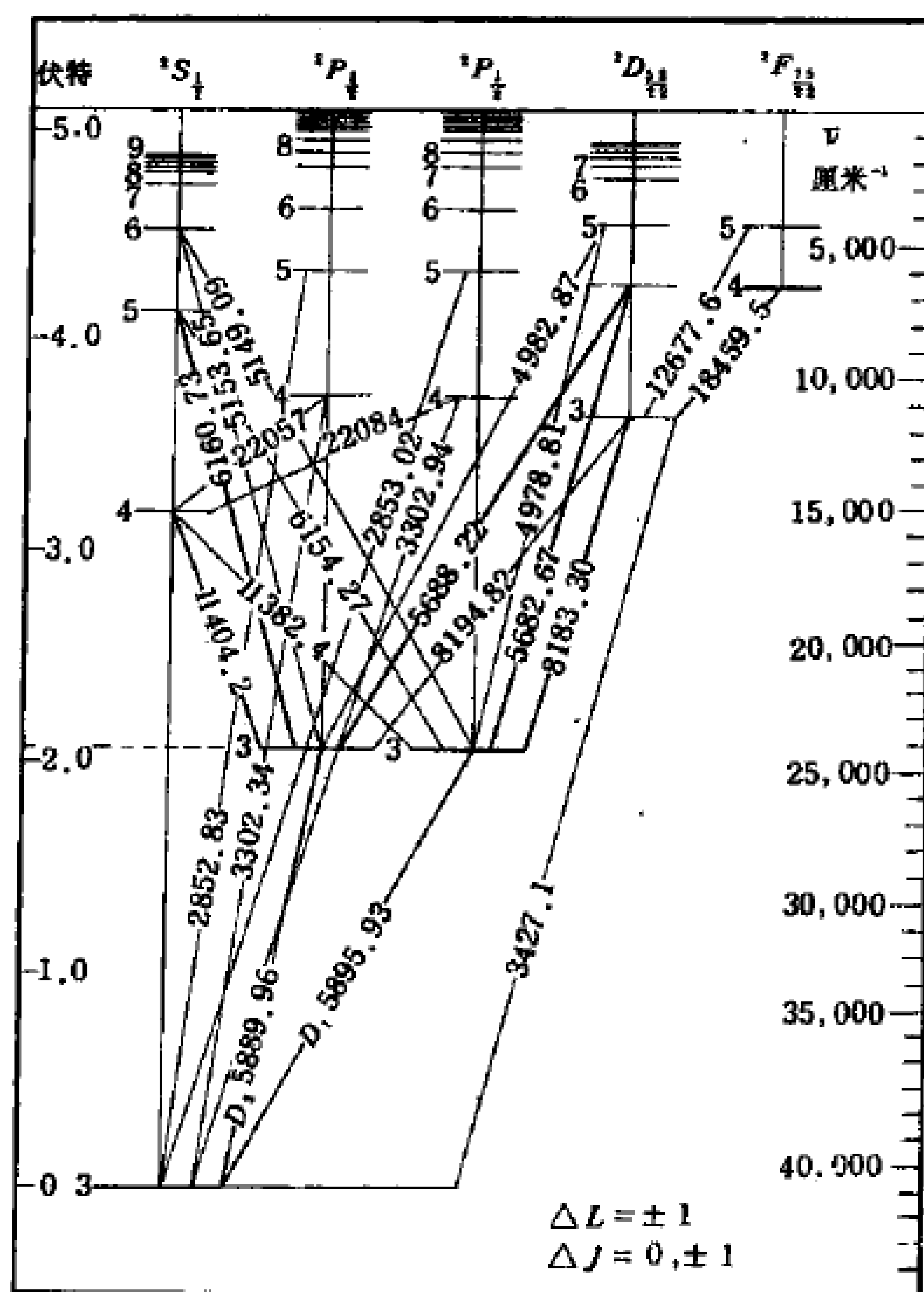


圖 12—281　鈉原子光譜

【鈉氣燈】(Sodium vapour lamp)

用做路燈的鈉氣燈，在夜間可產生良好的路面能見度。這種橘黃色的燈光，擴散力強，而且柔和，在這種燈光下的物體，可以看得很清楚，所產生的效果，和物體輪廓差不多，所以不少交通要道，在人工照明上，都使用鈉氣燈，來減少汽車的交通事故。

【鈉燈光源】(Sodium lamp source)

爲單色光源利用於玻璃折射率測定或平面檢查。最近以高效率光源使用於照明用途。

發光管與外管中間有內管以保持放電中適當的氣壓。內管內爲眞空

。發光管則以耐鈉玻璃製作而有封入數 $mmHg$ 的氖、鈉與微量的氬。

因氖的氣體放電溫度上升，而引起鈉氣壓的上升，發生鈉全體的放電，而發出原子光譜 5,890 Å 與 5,896 Å 的光線。

使用附屬的點燈器具與安定器，點燈後約 20 分鐘鈉開始放電。

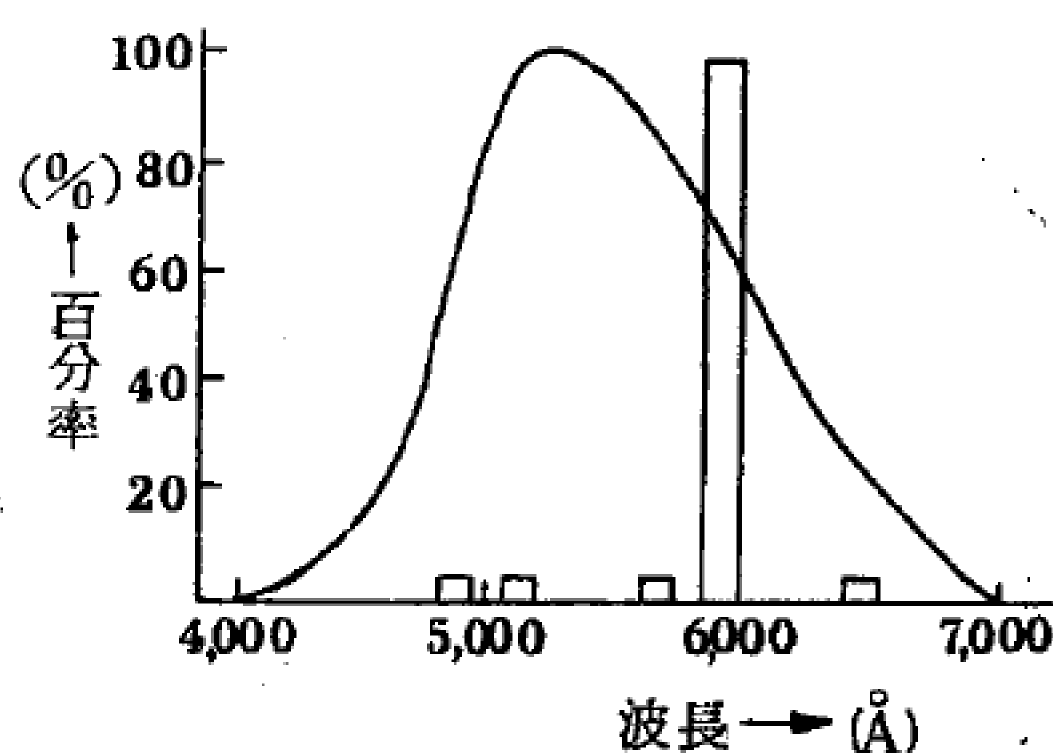


圖 12 — 282
比視覺敏銳度曲線與鈉燈光譜分佈圖

其效率爲 93 lm/W ～ 100 lm/W 。高於日光燈的 76 lm/W ，與水銀燈的 60 lm/W 。其波長並在視覺敏銳度最高點附近。一開始點燈時將發出氖光譜。在 250°C 附近溫度，鈉放電最大。如圖 12 — 282 所示。

【閏年】(Leap year)

它是比平年日數多一天的年，爲使曆和季節不至於脫節而設立。太陽曆是四年設立一次閏年。但又爲了四百年中減少三次閏年，又有如下的規定：西元年數能被四整除者，是閏年；但能被 100 整除而不能被 400 整除的年，當作平年。

【開口流體壓力計】(To open manometer)

參閱“開管式壓力計 (*Open-tube manometer*) ”條。

【開心式】(Open - core)

磁力線通過鐵芯時，磁路的一部分是空氣者。

【開循環反應器系統】(Open-cycle reactor system)

冷卻劑只通過核心一次就被廢棄不用的反應器系統。

【開路插座】(Open circuit jack)

插座經常是開路，需以一插子連貫然後成閉合電路，故稱開路插座。

【開路電壓】(Open-circuit voltage)

測量未有電流流通時之電池或電源之電壓。

【開管式壓力計】(Open-tube manometer)

比一大氣壓大或小得不多的氣體壓力，可用液體壓力計來量度，裏面灌的是水或水銀。開管式壓力計，如圖 12－283 所示。測量計示壓力，由裝有液體的 U 形管所組成，一端露於大氣中，另端連接欲測壓力 p 之系統（槽）。

$$p - p_0 = \rho g h$$

故計示壓力 $p - p_0$ 與 U 管中兩邊液柱的高度差成正比。若容器氣壓高，則管中須裝稠密流體，如水銀；若氣體壓力低，可以用水。

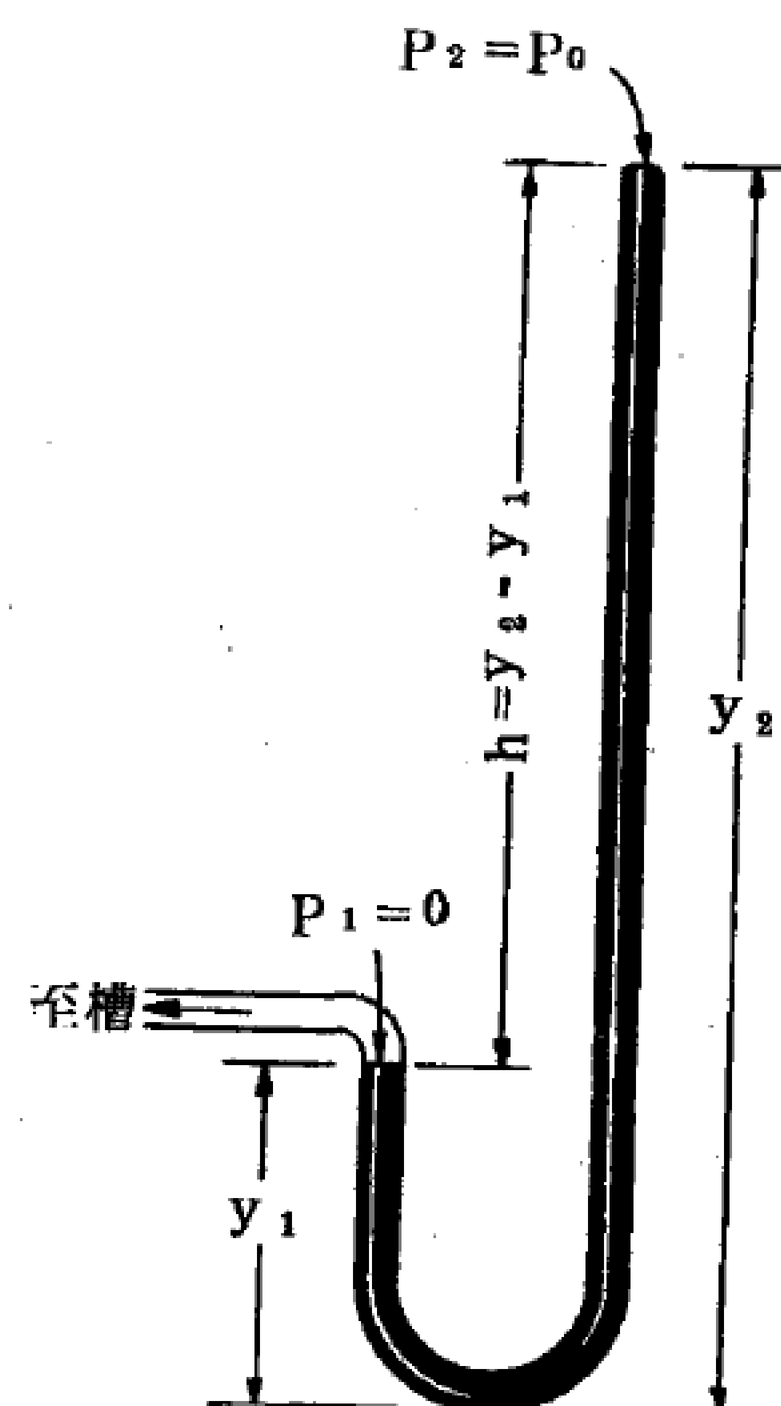


圖 12－283
用以測量槽中壓力之開管式壓力計。

【開關】(Switch)

司電路開合的機件。在線路圖中常使用 SW 表示開關。

【開關掣】(On-off switch)

接收機或發射機面板上的開路與閉路的開關。

【間接波】(Indirect wave)

無線電波經電離層反射而被接收機所收得之天波。

【間接循環反應器系統】(Indirect-cycle reactor system)

一種反應器系統，其中熱交換器把熱量從反應器冷卻劑傳到第二種流體，再去推動渦輪。

【間接照明】(Indirect illumination)

將光源發出的光，先行反射後再利用反射光線的照明。光雖柔和，

其缺點爲光之一部分被反射面吸收而變暗。

【間歇泉】(Geyser)

是一種熱水泉，此種水泉在間斷的時間中像噴泉一樣將泉水噴入空中。間歇泉內有一深坑，深坑上端通連一盆地，坑內則被水灌滿，坑底的水乃受到巨大之靜壓。又火山之熱在此底部將水加熱，水之溫度乃升高到 120°C 至 130°C 而水並不沸騰。但每當該處因火山土壤由於繼續加熱而猛烈地形成蒸氣時，擴張之蒸氣則將有如安全活門發生作用的沉重水柱舉高，上部管狀坑道中的水乃因此溢出。此一結果遂使施於坑底水和蒸氣之靜壓減低。對此減低之壓力而言，水的溫度乃變得過高，於是陷於猛烈的沸騰，這就像汽鍋中超過 100 °C 的熱水於啓開活門，突然暴露在較小之大氣壓力下時所發生的情形一樣。因此，乃有一股蒸氣從間歇泉深坑中挾著巨大的威力噴射上來。接著又有水漏進下面的坑室中，使得該處的熱水冷卻，於是沸騰和噴射蒸氣之作用便都又告停止。在冰島西南部、紐西蘭北部島嶼等地均有間歇泉，美國黃石公園的間歇泉更多至 84 處。

【間歇振盪】(Blocking oscillator)

一種電子管振盪器，因爲反饋甚爲強烈，所產生的振盪遠非正弦形狀，而是一個個彼此之間有著很大的時間間隔的短脈衝。和所有的非正弦波振盪器一樣，間歇振盪器發出許多的諧波，並且在振盪器內可以很容易地實現自動同步。這些特點使得間歇振盪器可以應用於許多不同的部門，特別是應用於電視中，如水平掃描及垂直掃描產生器的啓動，都利用之。

【間熱式眞空管】(Indirectly heated tube)

爲要在低溫度時熱電子也容易發生，鎳圓筒塗氧化鋇，在裏面放加熱用的金屬線 (加熱器) 者。鎳圓筒叫陰極。當加熱器發生高熱時，即自陰極表面跳出熱電子。

【陽光暖氣】(Warming air by sun-light)

從搜集陽光輔助取暖到完全不用燃料的陽光暖氣設備，這一個問題在冬天有某一最低量的陽光地區，就技術上說今天可以完全解決。陽光暖氣可行性並不以緯度為絕對關鍵。但是，以目前的經驗看，有經濟價值地區似乎只限在緯度 45° 以下。

陽光暖氣的問題焦點在於熱的存儲。陽光的流入是間歇性的，不僅因日夜交替，同時也有氣象因素。連續四天、五天，甚或更多的陰天都可能碰到，在這許多天裏的熱必須在有陽光時期預加存儲。所以這種暖氣系統必須要有下列設備：(1)陽光的集收器；(2)存儲裝置；(3)分配系統。

杜佛屋（*Dover house*）對上述問題有一個非常成功的答案。該屋的暖氣系統如圖 12—284 。集熱器為黑色薄鐵板垂直裝在雙層玻璃的後面，位於二樓面南的全部牆上。在集熱片的後面留幾吋空檔，再裝一層絕熱板，循環氣流把集熱板匯集的熱量經導流管送到屋內由雙層牆構成的儲熱倉裏。儲熱倉位在幾個房間之間，它的牆壁就當做散熱板用。如室外溫度不太冷，儲熱倉的四壁就能散發熱量使室內保持舒適溫度。如需提高溫度，就有溫度操縱的風扇把倉內熱空氣吹入室內，而室內較冷空氣則經由風口再回到儲熱倉去。

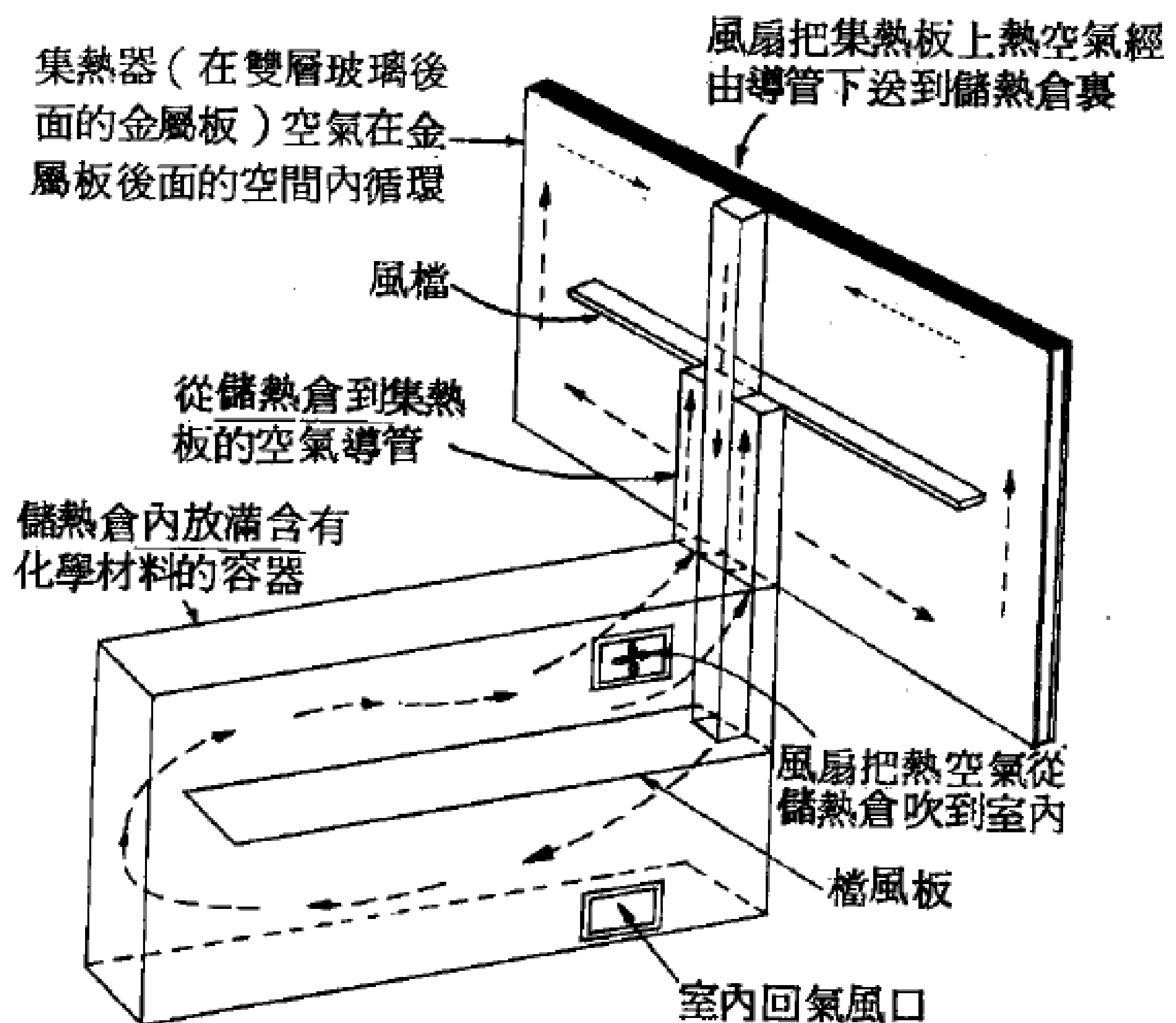


圖 12—284　杜佛屋的取暖系統

這系統的主要部分是熱量的存儲，在原則上可以在儲熱倉內存放容熱量相當的任何材料，例如具有高比熱的大量物質。許多可能方法之一是用構造像鍋爐或熱交換器式的大水箱，中有許多垂直鐵管，使熱空氣從中間流過。有陽光時，從集熱板吸收的熱量使水溫高過室內溫度，在晚間或陰天時再把儲藏的熱量放入室內。

應用比熱原理儲熱的缺點是儲水量很大，因此所需要的儲熱倉容積也很大。採用熔解熱時在有限的空間中可存儲較多熱量。熔解固體物質時需要熱；反之，液體凝固時將放出熱。後者在日常生活經驗中不常見，因爲水結冰時在低溫放熱，不易使人察覺。但是，無論水量多少，凝結時所放出的熱量，幾乎和自室溫升高達沸點所需要的熱一樣多。另有一些物質熔點相當高，經熔解後再行凝固，所放出的熔解潛熱很適合作室內暖氣。儲熱材料的必要條件，經發現以採用含水鈉或鉀化合物最爲適用，其中水分子在凝固時即含在晶格裏。下表指出各該鹽類的熔點及熔解熱。其中最便宜的是十水合硫酸鈉，杜佛屋就用它作儲熱材料。這

儲 熱 化 學 品

化 合 物	熔 解 點		熔 解 熱	
	°F	°C	B.T.U./lb	Kcal/kg
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	84～102	29～39	75	42
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	90～97	31～36	115	64
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	97～118	36～48	114	63
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	104～108	40～42	90	50
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	88～90	31～32	104	58
$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	120～126	49～52	90	50

種材料使用時不會損耗，如小心保養不使容器桶銹蝕就可以無限使用。在儲熱倉內的容器桶，重疊豎起，狀如立柱。從集熱板引來的空氣即循

環其間。在集熱的幾小時內，容器中的鹽類熔解，吸取熔解熱，而在凝固時又將潛熱還回四周空氣，利用空氣循環送入室內。這種暖氣系統完全不要管理，只需按下按鈕就能開動風扇和調溫器，其餘一切就隨陽光自動作用。杜佛屋中暖氣裝置的數據是：集熱器面積 720 ft^2 =67 m^2；儲熱容積 470 ft^3 = 13.3 m^3；硫酸鈉 21 噸；總儲熱容量4,700,000 $B.T.U.$ = 1,200,000 $Kcal$，夠 12 天普通日子所需的熱量；全部材料包括風扇、電氣設備、調溫器等。

很多人都覺得集熱器所佔據的大片牆壁和建築材料及工程所需的額外費用，僅能裝備一間起居室，兩間臥房，一間廚房和浴室的暖氣設備未免太貴。但在低緯度地區，集熱面積和儲熱材料都可以減少，在幾十年內，燃油價格高過現在時，陽光暖氣和熱泵等就能在條件適當的國家發揮重要作用。陽光暖氣的主要優點是除了轉動風扇需要些許電費外，根本不需要其他費用。因此，只需付出一次裝設費用，就能永久解除房屋的取暖開支。此外，這設備能自動工作，無煙無臭無灰塵，因此也解除一切存儲、添油、清掃、修理等諸多困難。一個國家的能源系統加入太陽熱後，就等於增加了國家的財富。

【陽核】(Positive nucleus)

帶陽電荷之核心(指原子的核心)。

【陽射線】(Positive ray)

帶正電荷之質點為陰極所吸引，故若陰極中鑽有小穴，則此等質點即可由小穴透出，而成所謂陽射線。

【陽電】(Positive electricity)

玻璃棒以絹摩擦之，生於玻璃棒之電，謂之陽電，亦謂正電。

【陽極】(Anode ; Positive pole)

(一) *Anode* 一般地說，這是一個具有正電壓的電極。因此，陽極

便是指電子管電極中的這樣一個電極，它通常為平板或圓筒的形狀，與高壓電源的正極相接，能夠吸引電子管陰極所發射出來的電子。

在一般電子管中都具備一個或多個此種收集電子的電極，省稱屏極。

(二) *Positive pole* 把導電的液體裝到容器裏(這容器就叫做電解池)，然後再把兩根與電池連接的碳棒(或金屬片)插入液體中。這兩根碳棒(或者金屬片)叫做電解池的電極(或極板)。其中與電池中間的碳棒(電池的正極)連接的叫做陽極，即電解質內電流之流入口；與電池的鋅板(電池的負極)相連接的，叫陰極。接通電路，在兩個極板間的液態導體中就有電流通過。

陽極又稱正極，亦是代表電池或其他電源的電極，電子在外路趨向的電極。

【陽極射線】(Anode ray)

首為德人哥德士坦(*Goldstein*)於1886 年所發現。利用如圖 12—285 所示之眞空管，當管內達到相當高的眞空度時，發現一種方向異於陰極射線之射線，當陰極板孔愈小，則此射線愈顯著，因之常稱此射線為極隧射線(*canal ray*)，亦稱陽極射線。經研究之結果，此射線係帶正電質點之流。

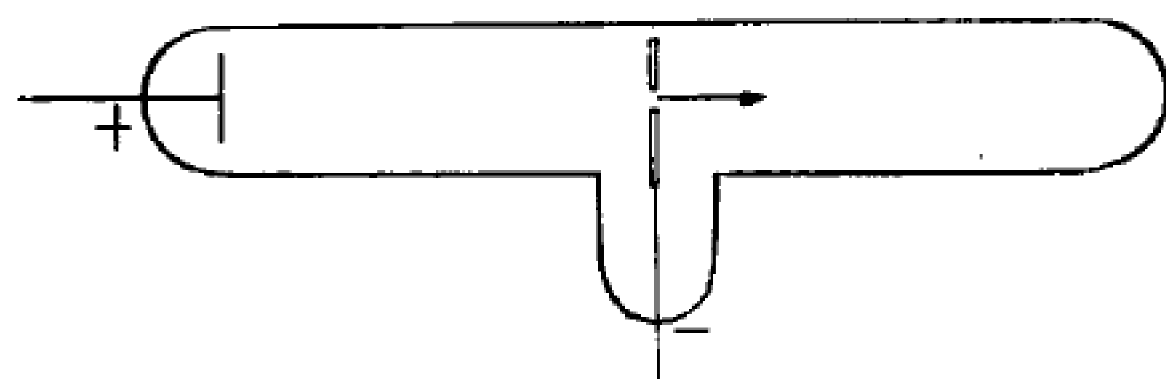


圖 12—285

陽極射線之比電荷之測定如圖12—286 所示，陽極是裝在眞空管之左端，陰極是一中央附有小孔之圓板，一兩平板為製造電場而加入，N及S為磁鐵，P為底片(或螢光幕)。由放電而生的陽極射線，經過圓板之小孔後如無電場或磁場之作用便直射至O點。若受電場作用如圖所示，即向X軸偏倚，此偏倚為

$$x = B\frac{e}{mv^2} \qquad (1)$$

e 爲質點所帶的電。當它只受磁場作用時，它當向 Z 軸偏倚

$$z = A\frac{e}{mv} \qquad (2)$$

當陽極射線同時受電場和磁場之作用時，其 z 與 x 之關係，由（1）及（2）式消去 v，則爲

$$\frac{z^2}{x} = \frac{A^2}{B}\ \frac{e}{m} \qquad (3)$$

A 及 B 爲裝置之常數。由（3）式

$$z^2 = \frac{A^2}{B}\ \frac{e}{m}x \qquad (4)$$

此爲拋物線方程式，即此時帶正電之質點落在一拋物線上。陽極射線之 $\frac{e}{m}$ 即使相同，但因速度有的不同，故在螢光幕或底片上則有通過 P 點之拋物線跡。

對於上述：$\frac{e}{m}$ 即使相同，速度亦可以不同之點，可解釋如下：因帶正電的質點可產生於正負極間之任何位置，產生於陽極附近的帶正電質點被陰陽兩極充分的加速，產生於其他處者則次之。陰陽兩極間之電位差（最大電位差，對在他處的正電質點所受的電位差言）若爲 V，此質點所得能量爲 Ve，此能量應爲正電質點的動能 $\frac{1}{2}mv^2$。即

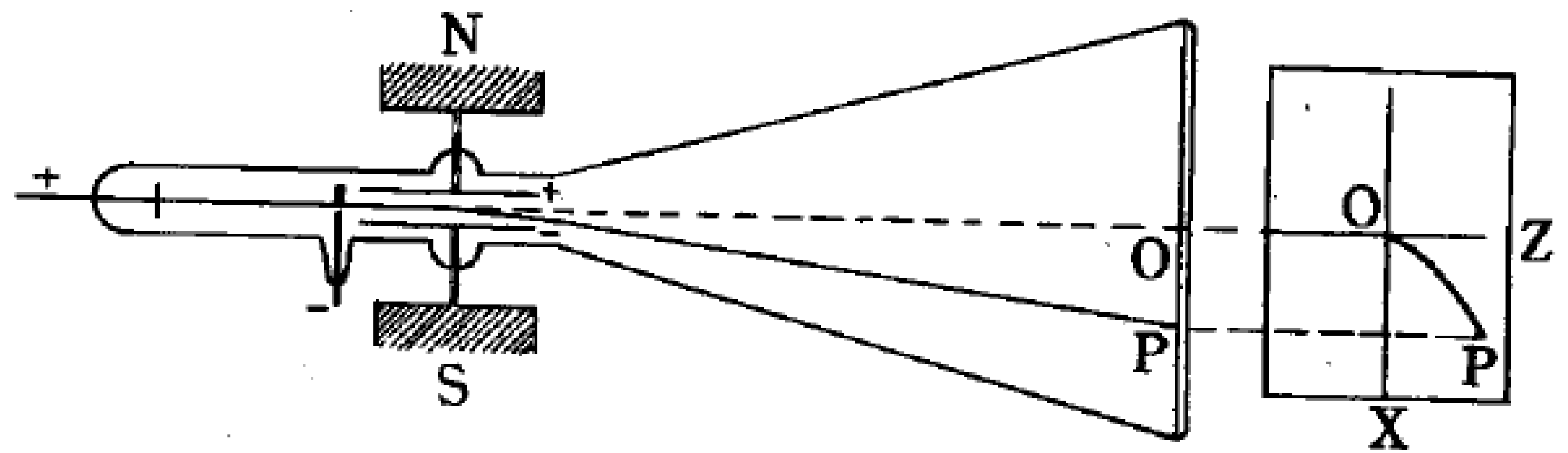


圖 12 — 286

$$\frac{1}{2}mv^2 = Ve$$

此式中之v爲最大速度，在比V小的位置產生的質點所得的速度常較此v爲小。於是陽極射線質點之速度大小不一，方才所討論的係就$\frac{e}{m}$相同者。如果陽極射線中含有$\frac{e}{m}$不同的質點，由（4）式易知在螢光幕上便現出不同的拋物線。

v的最大值係滿足$\frac{1}{2}mv^2=Ve$，由此得$mv^2=2Ve$，將此代入（1）式得

$$x=\frac{C}{V}$$

C爲裝置常數，此x爲偏倚之最小值，故拋物線不通過坐標原點。若將磁場方向反之，卽可得一就OX軸爲對稱的拋物線，如圖12—287所示。

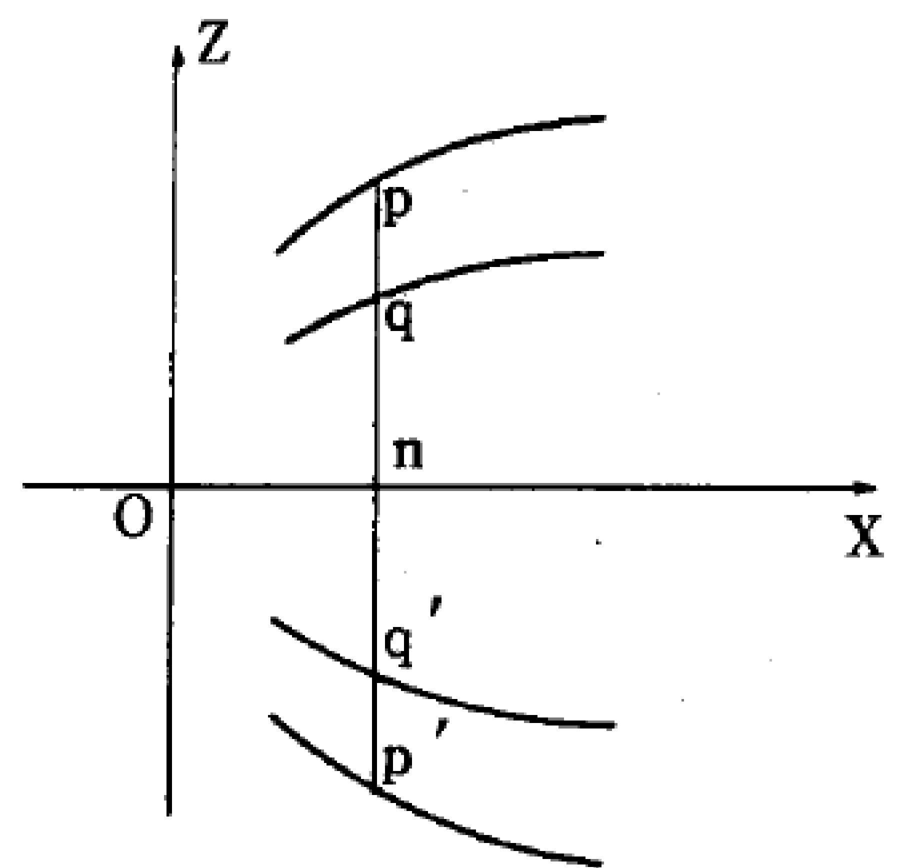


圖12—287

根據（4）式敍述$\frac{e}{m}$及原子質量之測定，如能從底片上量出x及z由（4）式可得$\frac{e}{m}$。就一指定之x值及同一電荷e，由（4）式易知質量與z值之平方成反比，卽質量小者施行大的偏倚。茲若令對應點p及q之質量分別爲m_p及m_q，如圖12—287，則

$$\frac{m_q}{m_p}=\frac{(\overline{pp'})^2}{(\overline{qq'})^2}$$

因在底片上不易取坐標軸，所以在取得如p及q之拋物線（部分）後，常使磁場方向反過來以求與p q成對稱的拋物線p'及q'，如是則能量出$\overline{pp'}$及$\overline{qq'}$之距離，以免在底片上取坐標軸的困難。

由陽極射線畫在底片上諸拋物線之中，最大偏倚當爲氫離子（嚴格言之，當就同一電荷e）畫出來的拋物線（最外側）。上圖最外側拋物線如爲氫離子所畫的，m_1卽爲已知，則其他離子之質量由$\overline{pp'}$及$\overline{qq'}$之量出卽可求得。經如此測定之結果，大家認爲陽極射線是起因於帶正

電的原子離子，此等帶正電的原子離子，顯然是在眞空放電時，由於中性原子失去電子而形成。

【陽極處理法】(Anodic treatment)

某種金屬須有外皮保護，此係將金屬揷在電解液內，作陽極通電鍍之，如此則成保護的外皮一層。

【陽曆】(The solar calendar ; Gregorian calendar)

陽曆以回歸年爲一年，卽太陽曆，爲現今各國所共用的曆。在希臘羅馬時代，曆法紊亂。紀元前四十六年，羅馬大帝儒略凱撒(*Julius Caesar*)命執政官改正曆法，定每四年內，有三平年一閏年，平年爲365日，閏年爲366日，是爲儒略曆(*Julian calendar*)。儒略曆一年平均爲365.25日，與回歸年相差極微，故曆書所載的氣候，與實際的氣候相合。

凱撒死後，奧古斯都(*Augustus*)繼位，將儒略曆中月的大小，略加修改，其法式沿用至今。茲將一年中十二個月的日數列示如下：

一月	三十一日	七月	三十一日
二月	二十八日（閏年二十九日）	八月	三十一日
三月	三十一日	九月	三十日
四月	三十日	十月	三十一日
五月	三十一日	十一月	三十日
六月	三十日	十二月	三十一日
一年	三百六十五日（閏年三百六十六日）		

一月有三十一日者，爲大月；三十日者，爲小月。二月平年爲二十八日，閏年爲二十九日，從無三十一日，故二月亦可稱小月。

記月的大小，有一簡便的方法（如圖12—288），握手成拳，則手背上有四峯高起，三凹低下。口呼月數，由食指的高峯數起，月數逢高峯者爲大月，逢低凹者爲小月；數至小指的高峯時，再由此高峯返回

數之。如此則一、三、五、七、八、十、十二等月，皆逢高峯，爲大月；二、四、六、九、十一等月，皆逢低凹，爲小月。

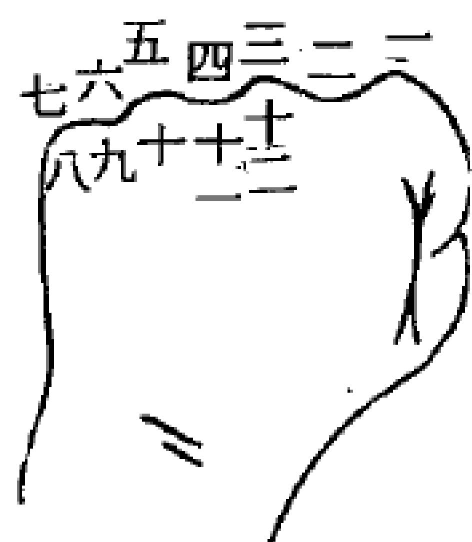


圖 12—288

實際上，回歸年爲 365.2422 日，比儒略曆每年平均少 0.0078 日，或 11′12″，積久成多，400 年中，實際的氣候，與曆書所載的氣候，約差 3.12 日。當儒略曆製定時，太陽在三月二十一日經過春分點；至 1582 年，太陽經過春分點則在三月十一日，已差了十日，春分的時間已退到冬季。若再這樣延下去，將要冬行春令，故當時羅馬教皇格里哥（ *Gregory* ）重行改正，製定新曆，稱爲格里哥曆（ *Gregorian calendar* ），即現在世界通行的曆，我國自 1912 年採用之。

格里哥改曆的方法如下：將 1582 年十月五日改爲十月十五日，提前十日，使春分仍在三月二十一日。爲配合天時，一勞永逸計，又改訂置閏之法：凡西曆紀元年數，可以四除盡者，即爲閏年，平年二月爲二十八日，閏年二月爲二十九日。但紀元年數爲百的倍數者，四雖除盡，亦不置閏；而四除盡，四百亦能除盡者，依舊置閏，如此訂正，則四百年內，省去三日，儒略曆的差誤，即不發生。如 1948 年、1952 年、1956 年，以四皆可除盡，故皆爲閏年。1700 年、1800 年及 1900 年，雖四可除盡，四百則除不盡，因不置閏。至 2000 年，四可除盡，四百亦能除盡，則爲閏年。儒略曆每百年比回歸年多 3.12 日；格里哥曆每四百年少閏三次，減少三日，是與回歸年每四百年仍差 0.12 日。然此差甚微，須積至三千三百餘年，始有一日差。此曆實行，尚不到四百年，故差誤尚未足影響實際的氣候。

【陽螺旋】（ Male screw ）

在圓體上刻凸起的螺紋，叫做陽螺旋。在圓筒內挖成溝紋，恰能嵌合陽螺旋者，叫做陰螺旋。把陽螺旋嵌合在固定的陰螺旋裏使陽螺旋轉

動一週，其本身就前進或後退一段距離。這段距離就是相鄰兩螺紋間在螺軸方向上的距離，稱爲螺距。

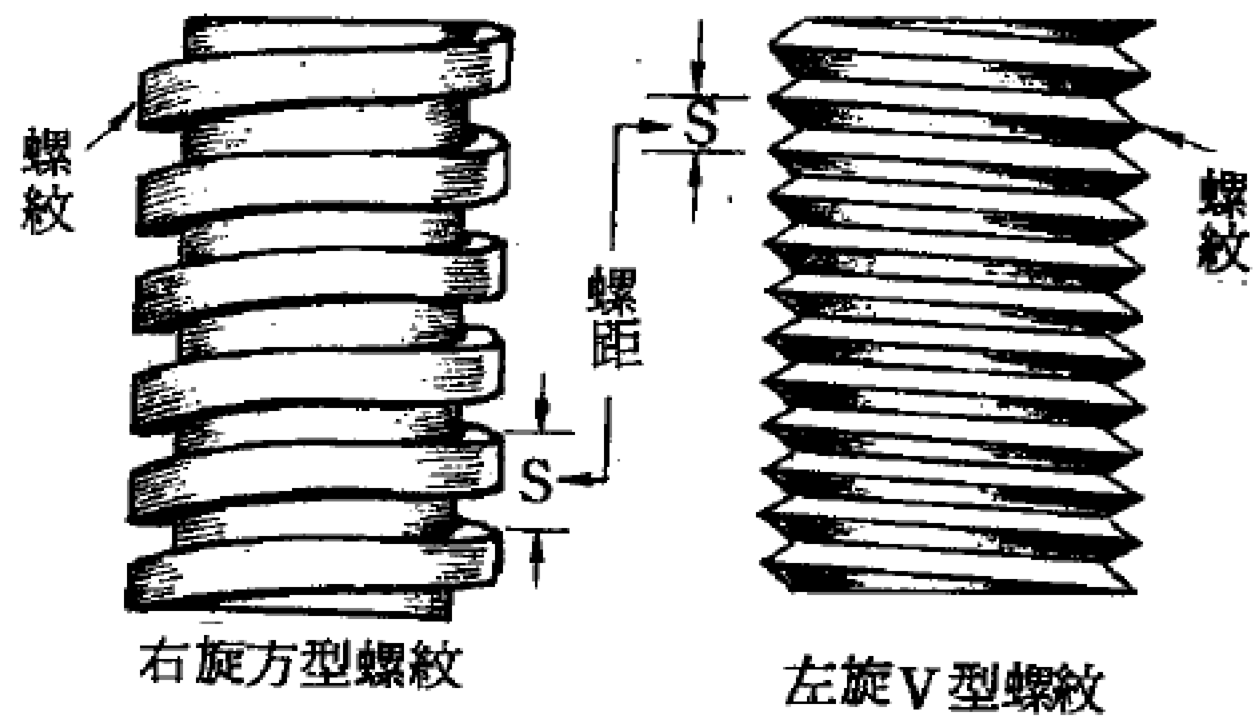


圖12—289

【陽離子】(Cation)

以電流通於電解質之溶液內，則其物質被電流分解，此時從陰極所發生之物質，謂之陽離子。

【集射四極管】(Beam tetrode)

通常用來代替功率輸出五極管的四極電子管。與五極管所不同的是沒有抑制柵極。在電子注四極管內，控制柵極和簾柵極具有特殊的形狀與排列位置，同時採用了與陰極相連的特殊閘門，用這些方法就可以避去二次放射的影響。

【集射屏】(Beam forming plate)

集射管之小屏，目的使電子注射於屏。

【集極接地式放大器】(Grounded collector amplifier)

一種晶體管放大器，其集電極作爲基極與發射極的共用點。此式放大器在許多特性方面與電子管的陰極輸出器相同。其線路及電子管等效線路如圖12—290及圖12—291所示。

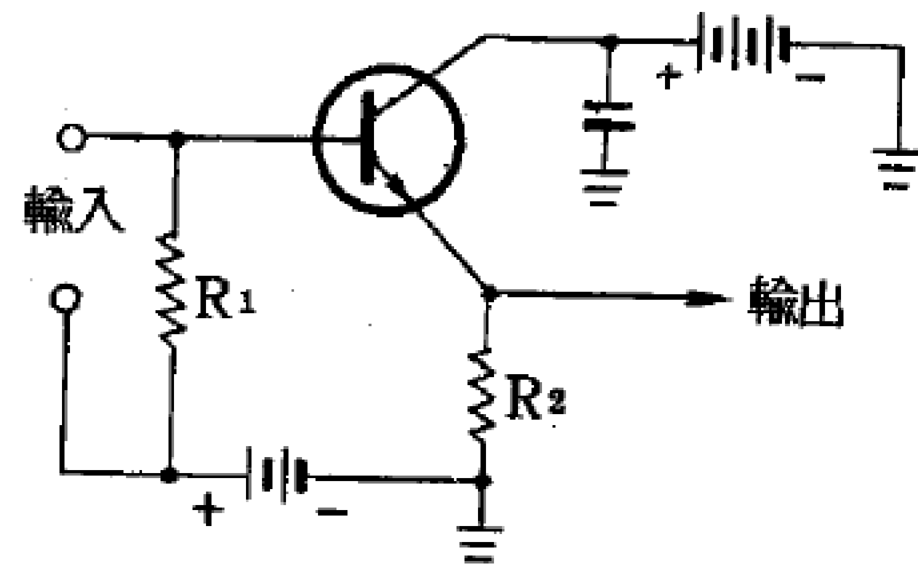


圖12—290

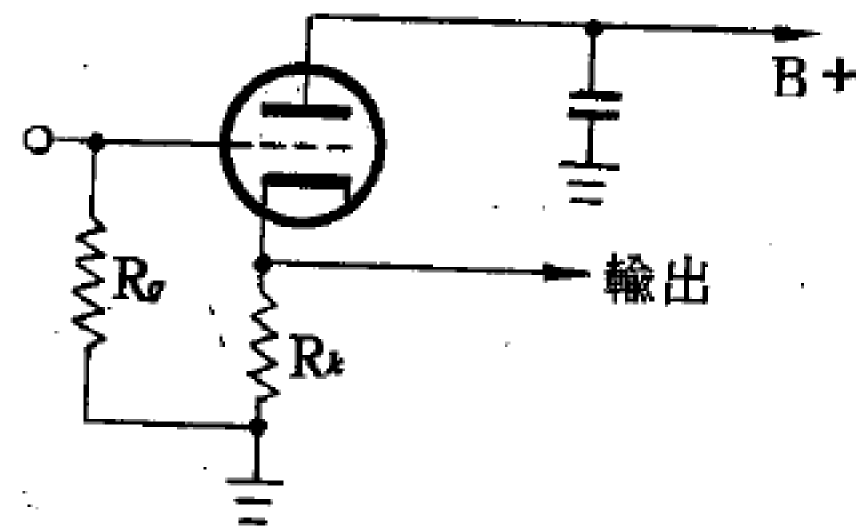


圖12—291

【集電極】(Collector)

晶體管中電極之一，與電子管的屏極作用類似。

【集電極效率】(Collector efficiency)

在負荷中的交流功率與電源供應的功率的比值，通常以百分率表之。

【集電極電阻】(Collector resistance)

在晶體中集電極的電阻。

【集電環】(Collecting ring)

發電機中將電流導出的裝置，也叫整流子。每轉半轉，即把通過電樞線圈的電流方向改變的裝置。因此每半轉，電樞的磁極即反過來而使旋轉繼續下去。因導出電流之不同，又分交流發電機和直流發電機。

【雲】(Cloud)

雲是含有水蒸氣的空氣，上升時所形成。空氣上升時，越升高到上空去，氣壓便越低，需用自己的熱來膨脹，且外面也無法供給熱，所以每升高 100 *m*，空氣的溫度就降低 1°*C*。這叫做絕熱膨脹。空氣的溫度降到比露點低時，空氣中的水蒸氣便以細塵爲中心而凝結，變爲半徑約等於 0.01 至 0.05*mm* 的無數小滴，這就是雲。

上升氣流所以形成雲，有以下各種情形 (如圖 12—292) :

1. 由於日射，地面的一部分非常熱，它附近的空氣也因熱膨脹而變輕，空氣就上升，造成對流，因上層溫度低減，水氣乃凝聚爲雲。或由於一部分冷空氣與一部分熱空氣，交互流動。不同溫度之二種氣流相遇以後，一部分熱量向外輻射，水氣因凝結成雲。

2. 氣流受山脈的阻擋，沿著山腰而上升。

3. 低氣壓的中心，自附近吹來集中的空氣，便會上升。

4. 暖和的空氣和寒冷的空氣相撞，暖和的空氣上升到冷空氣的上方，並繼續上升。

由雲之高低，可分成下列數種 (圖 12—293) :

1. 卷雲 (*cirrus*)—— 色白而細長的雲，由微冰的結晶所形成

。

2. 卷積雲（ *cirrocumulus* ）——白色、細小，成堆的雲，亦由微冰的結晶所形成。

3. 高層雲（ *altostratus* ）——遮蔽陽光時，正如從霧玻璃透視過去一般，高層雲出現時，是要下雨的預兆。

4. 高積雲（ *altocumulus* ）——白色，部分是灰色，很像綿羊成群的牧場。

5. 層積雲（ *stralocumulus* ）——又叫疊雲，灰色的大片雲，堆積在一起。這種雲的出現 80 %是會下雨。

6. 層雲（ *stratus* ）——又叫霧雲。很像大霧的成層狀的雲。

7. 亂層雲（ *nimbostraus* ）——又叫雨雲、亂雲。是會下雨的厚而黑的雲。

8. 積雲（ *cumulus* ）—— 看起來像羊毛堆積成塊狀的雲。雲底會跟水平一樣的並排，多出現於晴天的白日。

9. 亂積雲（ *cumulonimbus* ）——夏日的白天常出現，上部如碰上圈界面（對流圈與平流圈的交界）時，向橫側推廣。是陣雨及放電的雲。

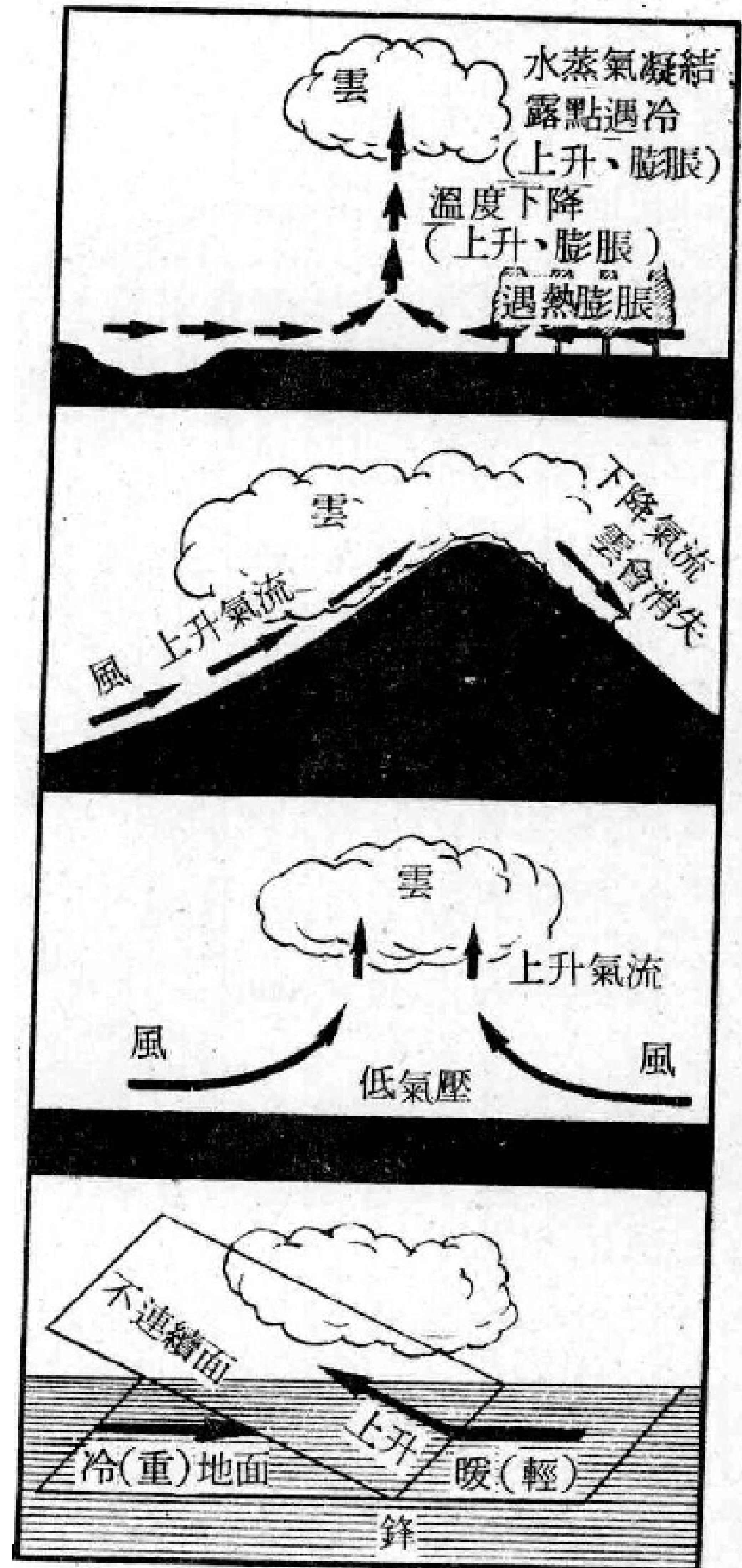


圖 12—292　雲的形成

我們時常看到盛冰水的甕的外層，時有小點的水凝結在上面。當雲形成時，也有和上面相同的現象，因爲空氣變冷時，空氣中原有的水氣，就凝結成細小的水點，於是很多的水點就會集成雲。雲既是空氣中有水份的象徵，若是天空中沒有雲，定然天氣是很好的。

若有少數的積雲散佈在天空，也是好天氣的象徵。這種雲是白色而具羊毛狀，我們靠近地平線觀看時是平坦的。有時像一塊塊層積雲，但若是柔軟而具羊毛狀，不投射影子，且各塊雲之間，可以看出藍色的天空，也是好天氣的現象。

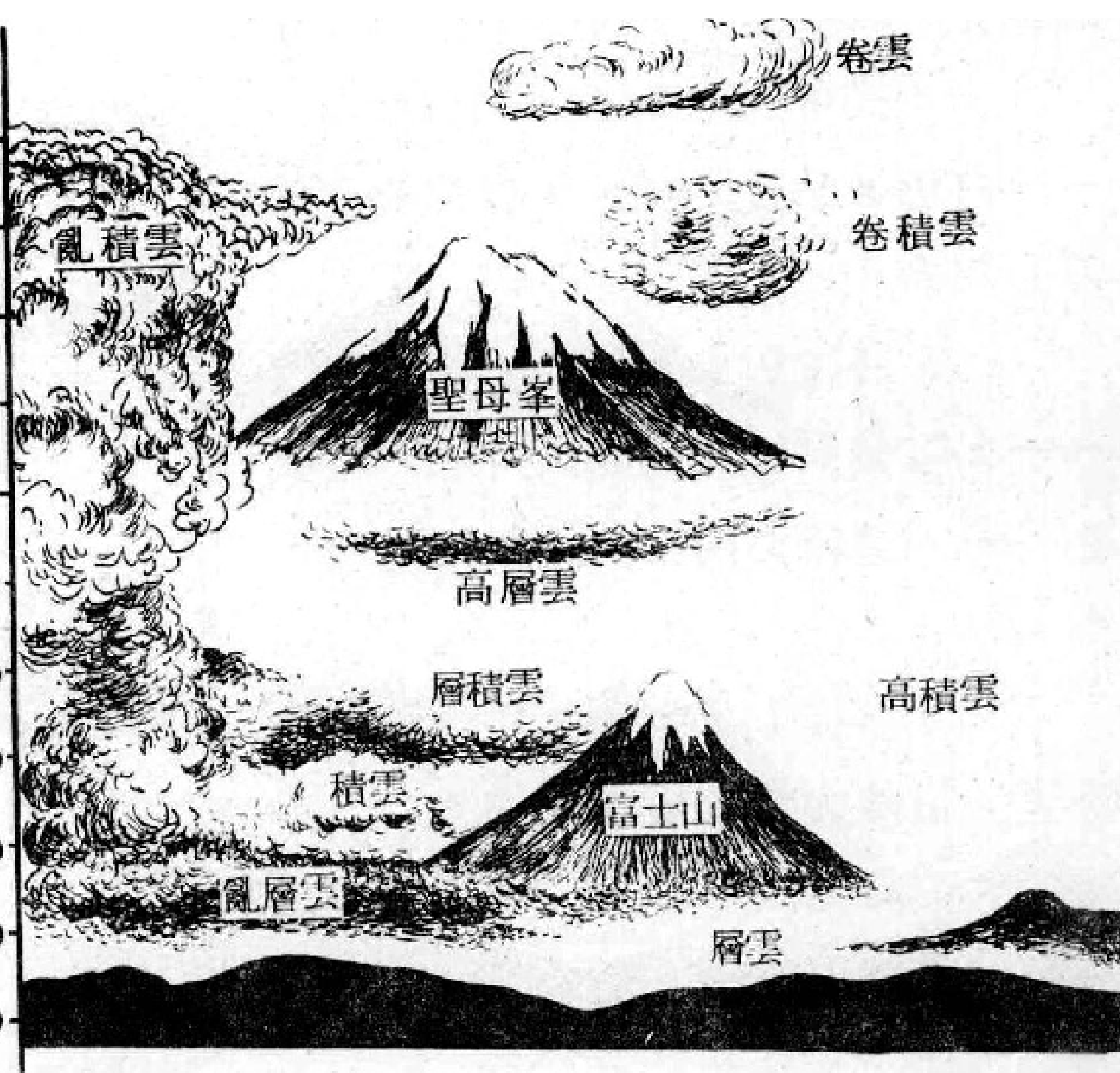


圖12—293　雲形和一般的高度

高空的羽狀雲，是風暴的預兆，有時數天後風雨才來臨。這種卷雲，常常有同魚鱗或馬尾一樣的狀態，預示大風的來臨，且常有暴雨隨後。它們常常有二層雲，移動於不同的方向，這是風暴已在急速來臨的確切信號。

天空有小堆的積雲，是好天氣的現象，但是有大片的積雲，是落雨的表示，通常是陣雨。有時因氣流的升高，地平線上有巨浪式的白雲，雲頂升起至極高度，這是有雷雨的預示。若在高聳積雲的上層，發现

雲砧，這是快有雹風暴的預示。

有時積雲有如同波浪衝擊在海岸上形成一長線，看上去像在向前滾，這稱爲颮。表示從反對方向來的二風相遇，因使氣流強烈的升降，隨後常有強烈的陣雨和暴風，而溫度的降低很大。

低暗而破碎的雲，是壞天氣的象徵，通常是長時期的落雨，這種雲名叫雨雲。通常無一定的形狀。這種雲常常在開始落雨之前很長的時間，就出現在天空，有時沒有形狀的灰色雲雖出現在天空若干時，而雨已停止。輕細的小雨常從高層雲落下，高層雲是高空中的灰色片雲，黯淡的陽光可以透過。

要預測天氣，實須在風的方向內觀察在地平線上的雲。倘若仰看天空的雲，則現象已成，無可預測。常有積雲可仰看，但若在風向內觀察地平線，可以看到積雲的底上成爲黑暗而破碎，漸漸變爲雨積雲，這是落雨的表示。

太陽出入時的天空現象，在預測天氣上是很正確的。近黃昏時，天空現紅色，是好天氣的表示，有時現黃色或綠色，那是絕好的好天氣現象。早起見日出也可以知道一些天氣。當日出時，晨光熹微而黯淡的，是好天氣的象徵。若閃色而光明，是落雨的預示。

月亮和星的現象，是指示空氣中的濕度。若月亮和星的光亮是很明晰的，就是天氣必好。若月光朦朧、星光閃動，就是落雨或雪的預示。

【雲母】(Mica)

一種容易分層而作成薄片的礦物，是良好的絕緣材料，又是誘電程度相當高的介質，在無線電工程中，常用來作爲固定電容器中的電介質，也用在電子管等的結構上之絕緣物和支持物。

【雲母片】(Sheet mica)

可作電容器兩片間的介質，在電子管電極間作間隔及絕緣用。

雲母玻璃】(Micalex)

一種絕緣材料，是用磨細的雲母在溫度約為600°時，在高壓下與易熔玻璃一起壓製而成。

【雲母電容器】(Mica capacitor)

以雲母為介質之電容器，固定或半可變的電容器都有採用。

【雲量】(Cloud cover)

雲　　量	0～3	4～8	9～10
天　　氣	晴	多　雲	陰
天氣記號	○	⦶	◎

雲量指雲遮蔽天空的份量，分為0～10的11個級來表示。晴天時無雲至雲蔽天空十分之三。雲蔽天空十分之四至十分之八時，稱天空狀況為多雲。陰天雲遮蔽天空十分之九以上。晴天時，太陽可能被雲遮覆；陰天時，陽光亦可能從雲隙間照射出來。

【雲霧室】(Cloud chamber)

詳閱“威爾遜霧室 (*Wilson cloud chamber*)”條。

【順電冷卻】(Paraelectric cooling)

一般氫氧根離子 (OH^-) 大多可以置換鹵鹼化合物中的鹵素離子。如氯化鉀 (KCl) 中的氯離子 (Cl^-)，由於氫氧根離子的介入，晶體的雙極會引起任意的重新排列。而雙極任意排列的作用，會降低晶體的居里溫度，故當物質處於順電範圍內，將氫氧根離子加入氯化鉀等晶體時，有冷卻的作用，此作用稱為順電冷卻。

【順電態】(Paraelectric state)

一處於鐵電態的物質，縱然沒有外加電場，亦有一電雙極矩存在。可是當物質的溫度升高到轉變溫度時，此一鐵電性質即消失。在轉變溫度以上的晶體被稱作在順電態上，此種順電性與順磁性極為相似。在順電態的物質，其介電常數會隨溫度的升高而急速減小，因之，此種狀態稱為順電態。

【順磁共振】(Paramagnetic resonance)

有一自由電子置於磁場$\vec{B}$中，它的自旋和磁矩或與磁場平行或與其反平行，則這兩狀態間的能量是：

$$E = \pm \frac{1}{2} g \mu_B B$$

式中自由電子g因數是2，而μ_B是波爾磁元(*Bohr magneton*)。加一垂直於$\vec{B}$的振動磁場，若其頻率ω滿足下式，則會在兩狀態間產生感應躍遷

$$\omega = \frac{g \mu_B B}{\hbar}$$

式中$\hbar$是除以2π的浦朗克常數(*Planck constant*)。對幾千高斯的磁場，共振波的波長約為數公分，屬於微波區域，可用微波吸收的方法量度。

順磁性物質中的原子、離子或分子中至少有一未成對電子，這種電子的磁性共振通常比自由電子的共振光譜複雜。自旋與自旋的作用和自旋與晶格的作用使共振線加寬，同時自旋與軌道作用，自旋和核自旋以及核四極的作用使吸收譜線劈裂。譜線的移動和劈裂也可視為內部分子或晶體場的結果，故可導致有關分子和晶體構造的詳細資料。

【順磁性】(Paramagnetism)

設有一物質，它的原子或分子具有一與電子角動量相關聯的永久磁偶極矩。在此情況，一外施磁場所產生的力矩，使所有磁偶極均沿磁場的方向排列，這樣形成的磁化，稱為順磁性。由外施磁場產生的取向效應與因熱運動而產生的擾亂秩序效應相反，此情形與由一外施電場作用於極性分子所產生的取向效應完全相同。

在磁路上，其磁阻甚弱，以便於磁力線通過，導磁程度特別高的介質。在任何情況下，其淨效果是順磁性物質獲得磁化的方向係與磁場的方向相同。若為順磁性物質，則順磁性效應遠較反磁性者為強，反磁性

效應通常完全被順磁性效應所掩蓋。

由一種順磁性質素製成的棒，在磁場中會採取與磁場方向一致的位置；而反磁性者（例如鉍棒）則會採取與磁場垂直的位置。在順磁性物體中，其分子內電子軌道的配置，恆能產生一剩餘分子磁場。此等分子磁場會與外在磁場取得一致的方向，並與之互相疊合，因此而使該順磁性小棒內的磁力線數略增，故該棒也和磁針一樣，將其長軸擺至與磁場一致的方向，且導磁係數略大於空氣。

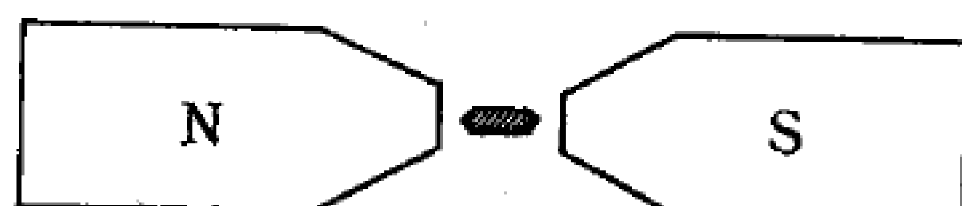


圖12－294
順磁性物體在一強力磁場中會循取與磁力線方向一致的位置

由於沿磁力線方向有一張力存在，故磁力線和橡膠帶一樣，也會發生縮短的現象。當該棒的長軸和$N-S$方向趨於一致時，通過其中的磁力線的長度也就變成最小了。

在沒有外加磁場下，抗磁物質並不具有永久性磁矩，不過順磁物質的原子，仍然保持有原子磁矩。例如鈉原子其電子組態（*configuration*）是〔*Na*〕$3S^1$，顯示最外層軌道尚殘留一個電子。正因爲這個殘留電子的自旋，使鈉原子具有永久性磁矩。順磁性其實是原子具有永久性磁矩而產生的。就一般的情形而論，一些具有奇數價電子的原子、分子以及尚有內層電子軌道未被填滿的元素（如過渡性元素及稀土金屬），都具有永久性磁矩，而表現順磁性。

其實順磁物質仍然帶有抗磁的效應，不過這時物質的抗磁性常比順磁性小，而遮蓋了抗磁的效應，而且由於熱振動的破壞，使個別原子的磁矩在外加磁場方向，整齊排列的趨勢減弱，因此在常溫狀態，沿磁場方向所產生的磁化強度並不很大，故磁化強度所造成的磁場與外加磁場比較之下可忽略不計。

茲利用古典物理的方法處理此一順磁的現象，設原子的永久性磁

矩爲$\vec{\mu}$，則在外加磁場內所具有的位能可被表示爲

$$\vec{U}_{mag} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

假定$\vec{\mu}$的分佈是連續的，故根據統計力學，在熱平衡下磁矩與磁場的夾角在θ及$\theta + d\theta$之間的機率應比例於

$$dP \sim exp(\vec{\mu} \cdot \vec{B}/kT)\, d\Omega$$
$$= 2\pi \sin\theta\, d\theta\, exp(\mu B \cos\theta / kT)$$

因此在磁場方向的磁矩平均值爲

$$\langle \mu_z \rangle = \frac{\int \mu_z dP}{\int dP} = \frac{\int_0^{\pi} \mu \cos\theta \sin\theta d\theta\, exp(\mu B\cos\theta/kT)}{\int_0^{\pi} \sin\theta d\theta\, exp(\mu B\cos\theta/kT)}$$

$$= \mu \cdot \frac{1}{a} \frac{\int_{-a}^{a} x e^x dx}{\int_{-a}^{a} e^x dx} = \mu L(a) \qquad (1)$$

而 $$L(a) = \frac{e^a + e^{-a}}{e^a - e^{-a}} - \frac{1}{a} = \coth a - \frac{1}{a}$$

式中$a = \mu B/kT$，且$x = (\mu B/kT)\cos\theta$。$L(a)$稱爲朗日凡函數（*Langevin function*），如圖 12 — 295 所示。兩種特殊的情況下$\langle U_z \rangle$與溫度的關係如下：

1. 強磁場低溫狀況——此時$a \gg 1$或$\mu B \gg kT$，故$L(a) \sim 1$，即$\langle \mu_z \rangle \cong \mu$。換言之，原子的磁化達到飽和（*saturation*）狀態，亦即所有的永久性原子磁矩近乎完全對齊，共同指向磁場的方向。

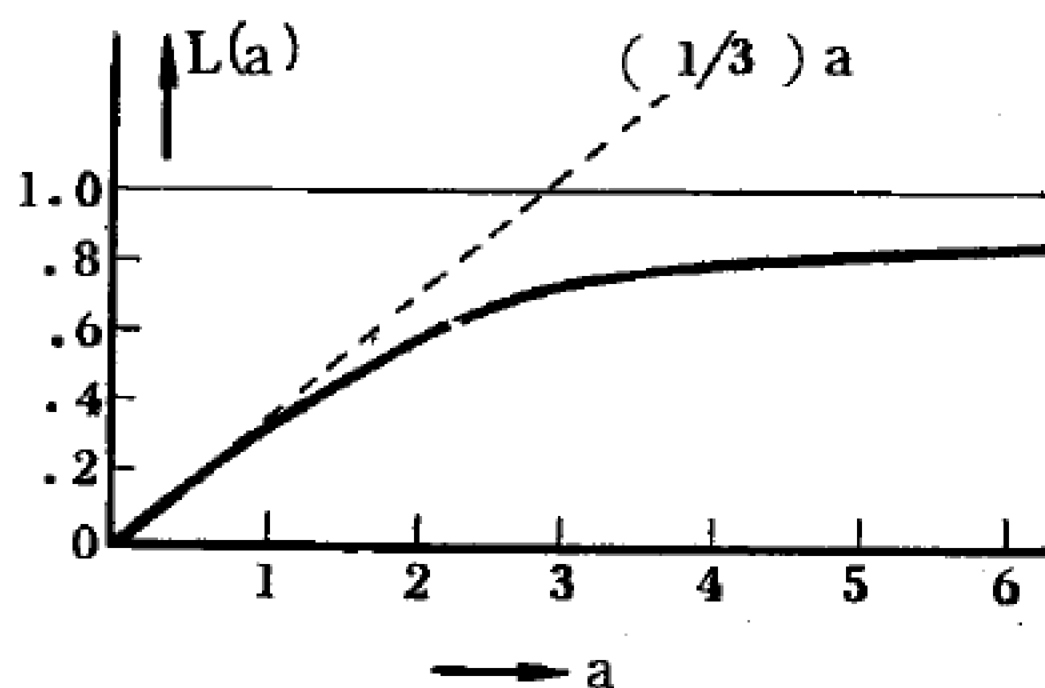


圖12 — 295　朗日凡函數a = μB/kT

2. 弱磁場或高溫狀況——此時$a \ll 1$，$\mu B \ll kT$，故

$$\lim_{a \to 0} L(a) = \frac{a}{3} = \frac{\mu B}{3kT}$$

$$<\mu_z> = \frac{\mu^2 B}{3kT}$$

這種條件是適合於一般實驗室的狀況，因為就普通的情形而言，$\mu \sim 10^{-20}$（爾格/高斯），$B \sim 10^4$ 高斯，$T \sim 300°K$，故

$$a = \frac{\mu B}{kT} \sim 2.4 \times 10^{-3} \ll 1$$

利用這種結果，我們發現磁化強度為

$$M = N\mu L(a) \cong (N\mu^2/3kT)B$$

在此我們必須聲明，這種順磁性的推演方法並不完全正確，因為永久性磁矩並不是連續分佈。根據量子力學的結果（1）式必須對各別分立值求總和，而不能用積分求和。因此兩種結果在弱磁場、較高溫的狀態下，近似一致，而在強磁場及低溫的情形，古典力學的結論是錯誤的。還有一點，根據量子力學的解釋，我們曉得同一原子軌道上成對電子自旋的方向是相反的，故順磁物質欲保有永久性磁矩，其電子數常需滿足奇數的關係。例如一氧化氮（NO）分子，原子核外共具有 15 個電子，而為順磁物質，不過氧分子（O_2），雖然具有偶數電子，不過其電子的排列情形，剛好使兩個電子的自旋不互相抵銷，以致在低溫時表現甚強之順磁性。

【順磁質】（Paramagnetic substance）

是一些易於接受磁化的物質，當磁化力達到該物質時，各原子極易接受劃一其行列，電子並依同一方向而轉動。在磁場內感受一指向磁場較強區域的吸引力，例如鈉、鋁及液態氧等，置之磁場中，則其軸線常與磁力線一致，與鐵質物品同，惟其所受之影響較小。

順磁物質的磁化現象，和具有永久性的電偶極矩物質的電極化現象

相像，兩者都與溫度有密切的關係。就一般情形而論，在常溫狀態下，順磁物質所受的吸引磁力，與抗磁物質所受的排斥力，在數量級上約略相等，不過在低溫情況下，由於原子（或分子）熱振動程度的減小，使磁極化率增加，並感受頗強的磁力，尤其在絕對零度附近，這種效應非常顯著。

若將每單位體積的磁矩定義爲磁化強度M（*magnetization*），而每單位體積的磁化率（*magnetic susceptibility*）定義爲：

$$\chi = M/H$$

H是磁場強度。在高斯單位中，χ無因次。通常磁化率也有就物質的單位質量或克分子而定義的。

物質的磁化率如爲負值，則被稱爲抗磁性物質（*diamagnetism*），如果物質的磁化率爲正值，則稱之順磁性物質。

【順磁窶射】（Paramagnetism maser）

窶射係利用受激發射的原理而放大微波信號的裝置。若此裝置所用的物質如爲順磁性質，卽稱爲順磁窶射，通常用在三階窶射裝置。其裝置的方法和原理與放大光波的雷射相似。

參閱“窶射（*Maser*）”條。

【馮卡曼】（Theodore von Karman 1881—1963）

原籍匈牙利，1881 年出生於布達佩斯，後歸化美國。他是物理學家兼工程師。1902 年在當地皇家工業大學得機械工程學位，並留校任敎。1906 年赴哥丁根繼續研究，兩年後得力學博士學位，並留校任敎。這段期間馮卡曼由理論解釋物體在流體中產生渦流的現象，今稱爲卡曼旋渦。1912 年德國政府任命爲新成立的艾森大學航空工程學院院長，第一次世界大戰時回到奧匈帝國參加空軍，戰後回到艾森。1926 年加州理工學院新成立航空工程實驗室，密立坎請卡曼協助計劃。1930 年任此學院之高根漢（*Guggenheim*）實驗室主持人，並永久居留加州

。1949 年退休，1963 年五月六日訪問艾森時逝世，終身未婚。馮卡曼對彈性理論、材料強度、流體力學、熱力學、超音速風洞及航空工程等均有貢獻。

【黃色炸藥】(T.N.T.)

即三硝基甲苯(*trinitrotoluene*)，又稱 *T.N.T.* 黃色化學炸藥。

【黃斑】(Macula ; Yellow spot)

光通過角膜進入眼睛，在眼睛後方的視網膜上成像，使視網膜各部分所接收到來自外界視野不同部分的光。視網膜不是絕對均勻的，在視區中央有一個斑點，這個斑點上的視覺最為敏銳，稱之為黃斑或下窪(*fovea*)。如圖12—296所示。從我們平常觀看物體的經驗中，可以直接感覺到，用眼睛旁邊部分來作仔細的觀察，不如用中央部分來得有效。

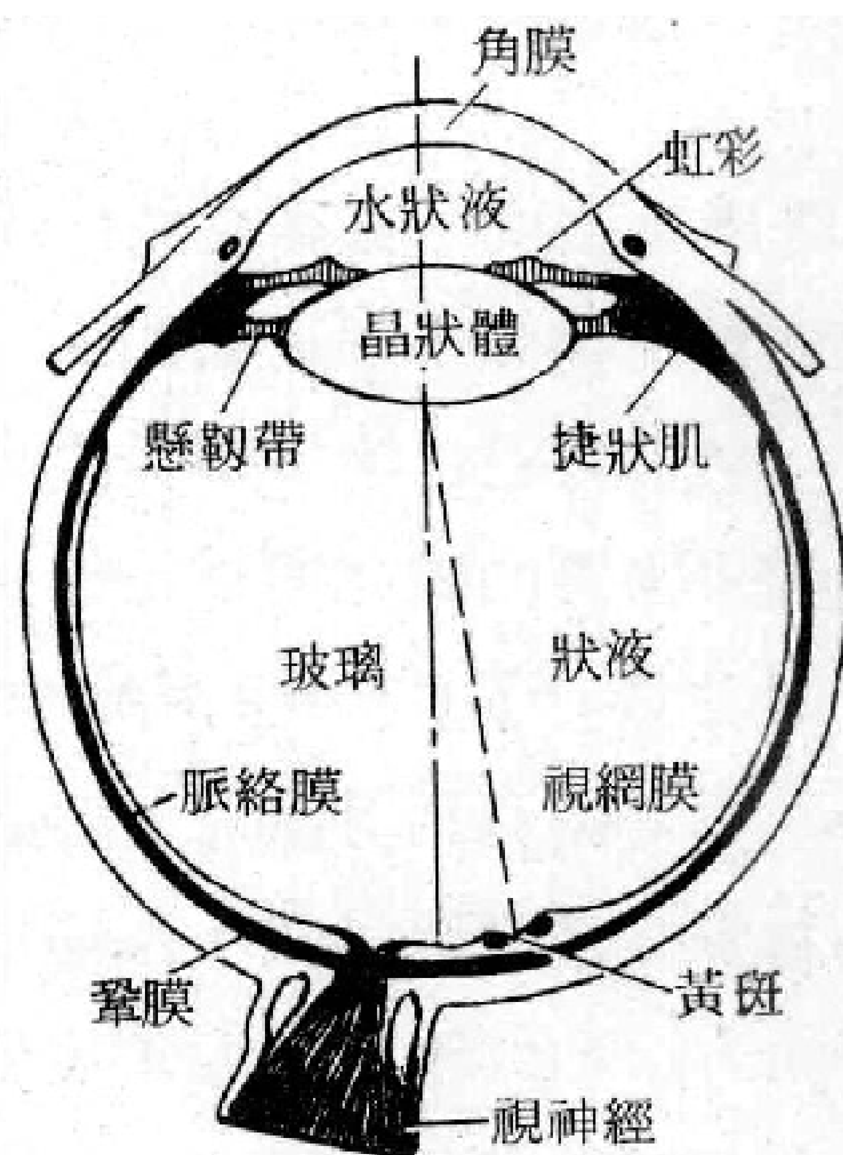


圖12—296 眼睛

【黃道】(Zodiac ; Ecliptic)

對地球的觀測者來說，太陽似乎是以一年的時間，繞地球一週。這種在天球上太陽的目視通道叫做黃道。太陽是以 365 日餘，繞天球一週，等於每天自西向東移 1°。黃道為一條環繞天空寬 16° 的斜帶，黃道對天的赤道，傾斜 23.4°，這是由於地軸和公轉面沒有垂直所引起。

參閱“天球(*Celestial sphere*)”條。

【黃道宮】(Signs of the zodiac)

古時候的天文學家曾把在日出和日沒時近日的恆星，分做十二個星座，太陽就在它們之前每個月越過一座。這十二個星座便是所謂黃道十二宮。在中國，黃道十二宮首見於爾雅，它們的名字和現在所用的不同

。現把這十二宮的新舊名列表於下：

黃　道　十　二　宮

今名	拉丁名	舊名
白羊	*Aries*	降婁戌宮
金牛	*Taurus*	大梁酉宮
雙子	*Gemini*	實沉申宮
巨蟹	*Cancer*	鶉首未宮
獅子	*Leo*	鶉火午宮
室女	*Virgo*	鶉尾巳宮
天秤	*Libra*	壽星辰宮
天蝎	*Scorpio*	大火卯宮
人馬	*Sagitarius*	析木寅宮
摩羯	*Capriconus*	星紀丑宮
寶瓶	*Aquarius*	元枵子宮
雙魚	*Pisces*	娵訾亥宮

這十二宮原是從三月起算的，就是說太陽三月交白羊宮，四月交金牛宮，以此類推。但實際上太陽卻要落後一個星座，非待四月不得到達白羊星座的。星辰每晚較其前一晚移到同一位置時所早的四分鐘相加起來，一年後的總差數極近二十四小時，但並不正好二十四小時。那麼，那些恆星在每年的同一日同一時不是並非實在在同一的位置。就因爲這一些差異，在黃道十二宮測定後二三千年的今日，太陽便須遲一個月才得到達原來的一個星座，而且此後還不斷地在延遲下去。

太陽經過了這黃道十二宮的移動路線，便是黃道（*ecliptic*）。但要實際觀測太陽的行動，實在困難，因爲太陽的移動既很遲緩，而且還有其他許多不便的地方。不過，月亮的移動和太陽是取相似的路線的，所以可從月亮的移動而來定黃道的位置。圖 12 — 297 是黃道星座圖。

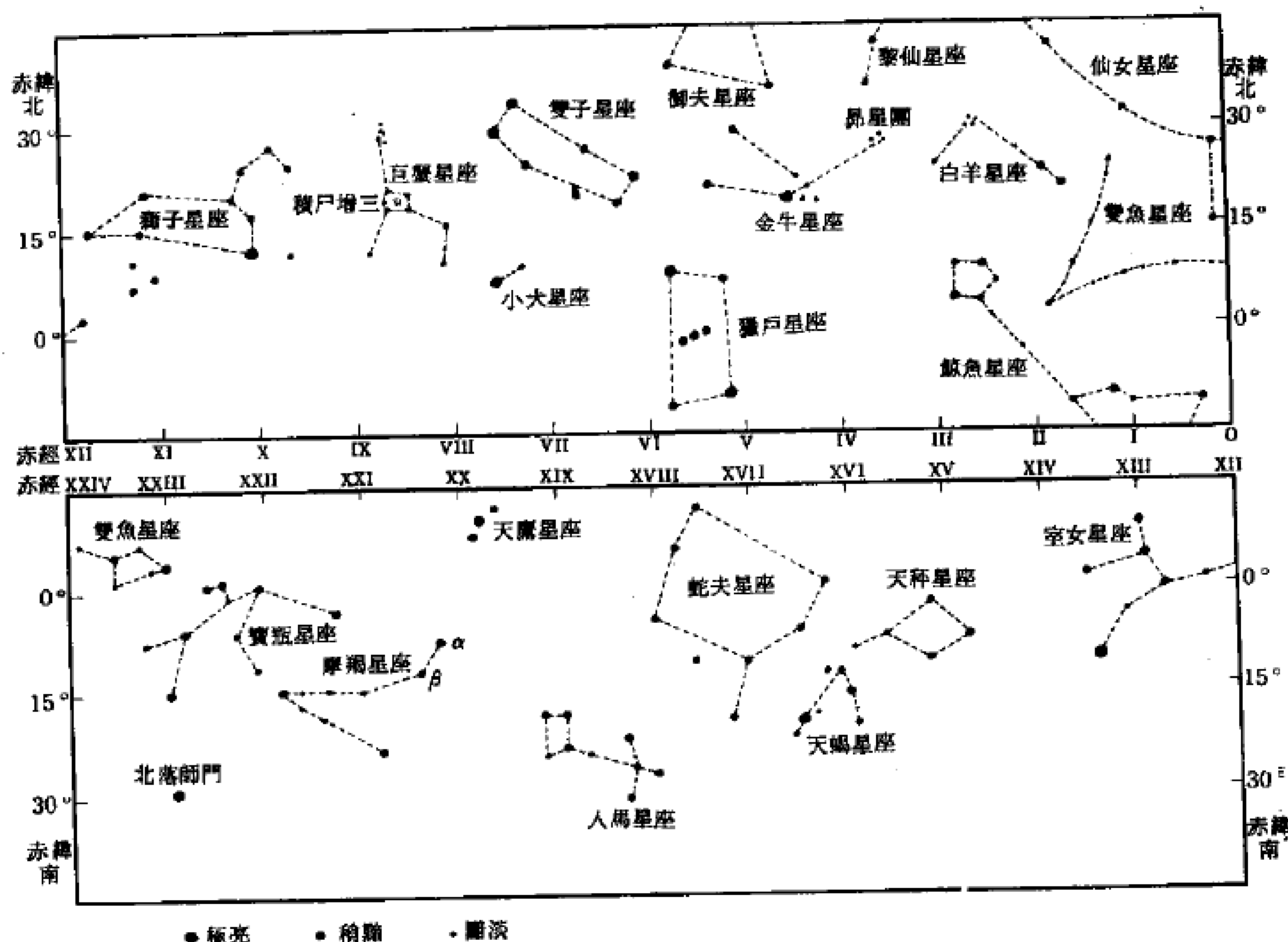


圖 12 — 297　黃道星座圖

【黃道平面】(Ecliptic plane)

由地球觀測星座時，見到的所有行星通過地球軌道附近之面，當三個天體在此平面中正確排列成一直線，蝕與轉境便告發生。

【黃道光】(Zodiacal light)

每年九至十一月左右日出前在東方天空中，或一至四月左右日沒後在西方天空中所見的淡薄的光，叫做黃道光(如圖 12 — 298)。面積頗廣，呈舌狀，和銀河的輝芒一樣。長方的中心線，和黃道略相一致。它的光譜和太陽譜一樣，所以可以認爲是太陽的反射光線。和黃道光同性質的微光帶，散佈在黃道的各部分；其中在和黃道光成一百八十度的對日照部分特別顯著。對日照和黃道光的物理性質，現在還沒有充分了解。

在溫、寒帶地方黃道光是一種極少看得見的天象，我們只偶爾在春天

日落後的西方，和秋天日出前的東方，看見一種微弱的光，它的形狀好像斜而向上的角錐體一樣；平常在都市裏，只能夠在行星儀或其他人工的特別裝置才能看得見；但是在熱帶地方，因爲太陽上升和下落的時候，它的光線很像垂直於地面的，所以黃道光更好觀察，並且倘若在一清朗無月的夜裏，更可以看得見它的主光之下部在西方，反照光在東方，而且主光和反照光的中間有一條微弱的光帶使這兩種光連成一起；熱帶地方看見的黃道光，它的明亮的程度是和銀河最亮的部分一樣；但是這種光景，在熱帶以外很少見到。



圖 12 — 298　黃道光

這種天文的研究在 1683 年的春

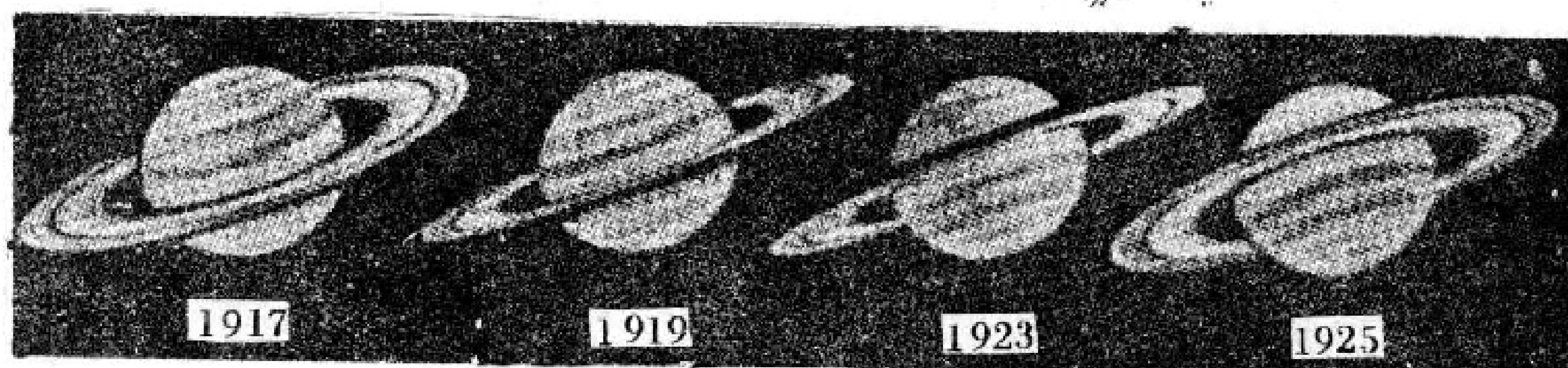


圖 12 — 299　土星的不同景象

天就由卡西尼（*Domenicos Cassini*）發現並記述了。卡西尼的觀察很精確，他在 1685 年發表的報告中已經有了一切。例如主光的形狀和顏色的描寫、軸與黃道（太陽在星群中的軌道）所夾的角、以及在觀察中的光角錐的不對稱的情形、星光的形式、天體及光線的吸收等，事實上都恰合著卡西尼所講的。

德國松冷堡（*Sonnenberg*）天文臺臺長賀夫買斯特（*Hoffmeister*）曾帶一個黃道光的光度計和一支自己特製的平面光度表到熱帶去，參考昔日所有的觀察的結果，根據色里格（*Hugo Seeliger*）的宇宙

微塵的光度與色的理論，來計算這些物質的分量，解決了黃道光的問題。

根據賀夫買斯特所決定光的分析，知道黃道光是如卡西尼所推想的一樣，是宇宙微塵所反射的太陽光。這種微塵是在太陽的赤道平面上排成兩個大環。這兩個環有一個差不多達到地球的軌道，另一個則穿過木星的軌道，黃道光物質的密度是逐漸地隨著接近太陽而增加的，而且每一個大行星軌道附近的黃道光物質分佈的情狀對於軌道也是對稱的（圖12—299）。

從地球上看這個太陽的大光環有主光、聯絡帶及反照光之別，在別的星球上看起來，是和從望遠鏡裏看土星的情形一樣：就是一個光亮星球（太陽），周圍有兩個在反射光裏很弱的光環，通過那個環可以看見太陽的衞星，就是所謂行星，只是一個一個光點，在緯度大的地方上，黃道幾乎和地平線接近，大氣的霧氣裏就看不出它的光環了；但在熱帶，黃道和地平線交著，所以可以完全看見光環的全部。但是在赤道下卻有幾處看不見。

【黃道坐標】（Ecliptic coordinates）

延長地球軌道面和天球相交的大圈叫做黃道；從地球看過去，太陽一年間在天球上一廻轉的路途，叫做黃道。黃道面和赤道面的交角，叫做黃赤交角（*obliquity of the ecliptic*），約爲23°27′。春分點和秋分點的中央，黃道最近北極的點叫做夏至點（*summer solstice*）；秋分點和春分點的中央，黃道最南的一點叫做冬至點（*winter solstice*）。

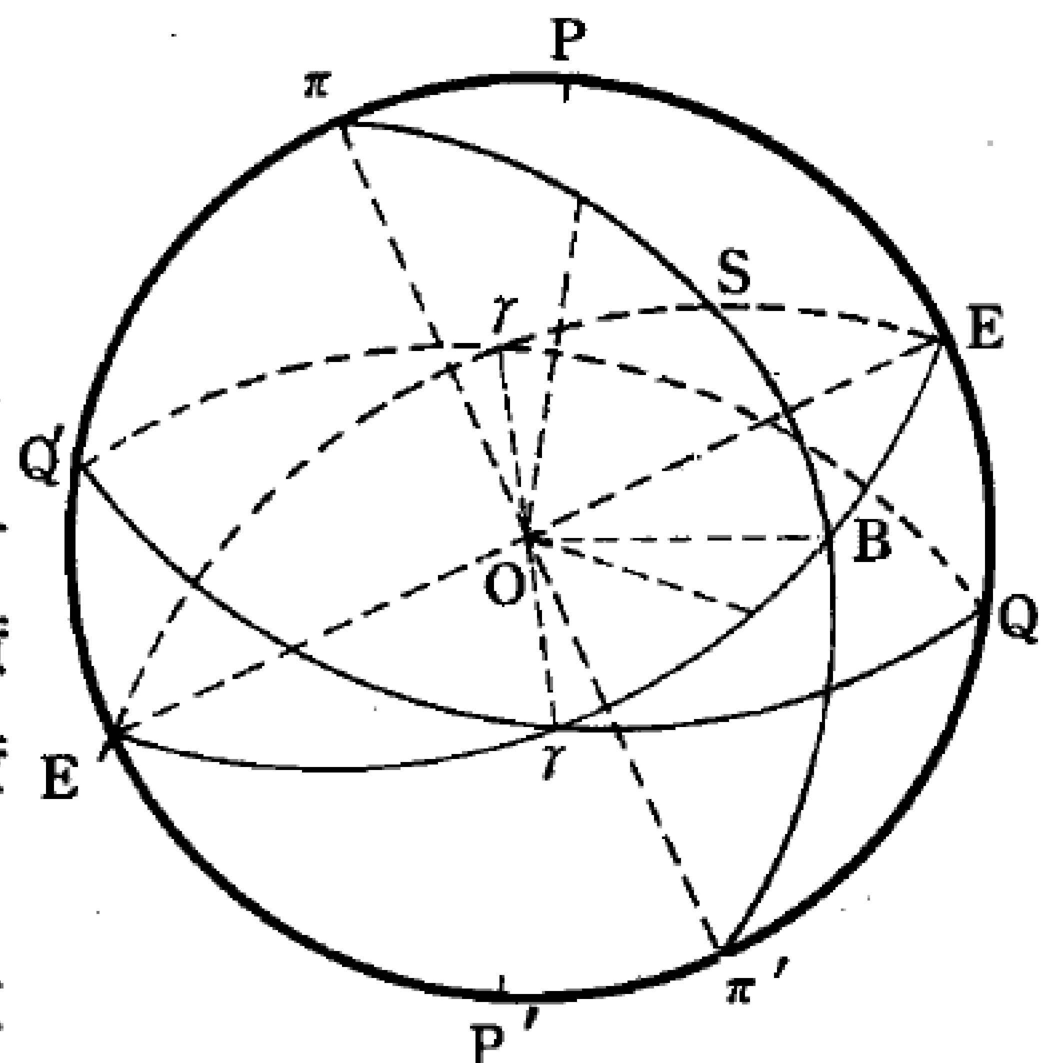


圖12—300 黃道坐標

通過天球中心引黃道面的垂直線，交天球於兩點，叫做黃極（*ecliptic poles*）；圖12—300中，π叫做黃道北極，π'叫做黃道南極。假設通過黃道兩極和天體S的大圈，和黃道相交於B點，則

$$\widehat{BS} = \angle BOS$$

叫做天體S的緯度（*latitude*）。而

$$\widehat{\gamma B} = \angle BO\gamma$$

叫做天體S的經度（*longitude*）。

天體的經度和緯度，也可以決定它的位置；這樣的方法叫做黃道坐標。研究行星對於太陽的運行時候，多用這種坐標；因為太陽幾乎只有經度變化。但是經度、緯度不能直接觀測，要先求赤經赤緯，然後再改算為經度和緯度。

其他還有以銀河面（*galactic plane*）為基準的銀河坐標（*galactic coordinates*），是研究恆星分佈時候所常用的坐標。

【黃銅礦】（Chalcopyrite）

應用於檢波器中的晶體，是銅鐵的硫化物。

【黑子】（Sunspot）

參閱“太陽黑子（*Sunspot*）”條。

【黑白發射】（Black and white transmission）

電視機所發射之信號波是代表畫像亮度，但非彩色者。

【黑白電視】（Black and white television）

電視發射臺之信號，僅代表畫面之亮度而非彩色者。

【黑面水平】（Black level）

電視機所接收之畫像，其黑面對視信號瞬時波幅之響應。

【黑暗星雲】（Dark nebulae）

參閱“暗星雲（*Dark nebulae*）”條。

【黑暗視力】（Scotopic）

參閱“眼睛（*Eye*）”條。

【黑斯定律】（**Hess' law**）

即反應熱加成定律。謂化學反應的能量變化只與反應物與生成物有關，而與中間經過的過程無關。

【黑體】（**Black-body**）

參閱“黑體輻射（*Black-body radiation*）”條。

【黑體輻射】（**Black-body radiation**）

物體內的分子，由於熱能而有來回的運動，從電磁學中我們知道，加速中的電荷是會輻射電磁波的；因此，在物體內的分子，由於其熱運動，通常會將其熱能化爲輻射能。另一方面，物體也能夠吸收外來的輻射能而轉換成熱能，當輻射出去的能量與吸收的能量相等時，即成熱動平衡的狀態。如果一個物體能夠吸收落在它上面的全部輻射，而完全沒有反射，我們稱這種物體爲黑體（*black-body*）。這個名稱，當然是從研究可見光的光學那裏借來的，因爲如果一個物體對所有的可見光都吸收而不反射，則這個物體當然會呈現黑色。由於從黑體的表面出來的輻射，完全是來自黑體的熱輻射，而不是來自反射，因此輻射中的能量分佈，應該完全爲輻射體的溫度所決定。

完全的黑體，事實上只是一種理想。可是我們可以設想一個保持在一定溫度的空腔（*cavity*）上面開一個小孔，從這個小孔，當然會輻射出電磁波，並且外界的電磁波，也可以經由這個小孔而進入空腔；如果小孔比起整個空腔是夠小的話，則入射的輻射總是在空腔內被反覆反射與吸收，而很少機會再跑出來。因此，這種空腔就很像一種完全的黑體。

對於完全黑體，很早就有人研究，克希何夫（*Kirchhoff*）在研究氣體之吸收與發射光譜時，曾得一結論即完全黑體不但爲完全吸收體，且亦爲完全發射體。至1883年，波茲曼（*Boltzmann*）曾用熱力學原

理推出史特凡（*Stefan*）之溫度四方律。若以T表完全黑體之絕對溫度，E表其總發射係數，則史特凡、波茲曼定律（*Stefan-Boltzmann's law*）爲

$$E = \sigma T^4 \qquad (1)$$

$$\sigma = 5.7 \times 10^{-5} \text{ 爾格/秒厘米}^2$$

陸末（*Lummer*）和浦林謝（*Pringsheim*）曾對黑體輻射作精確而仔細的觀察，以便與當時物理學家提出的理論作比較。有不少的理論結果是與實驗中的一部分相符合，但當時這些以熱力學爲基礎的理論，沒有一個能完整的解釋所有的實驗結果。圖 12—301 是在不同溫度時黑體輻射的譜線分佈情形，$I(\lambda, T)$是每平方厘米上在一微米（*micron*）波長範圍內的總發射功率。

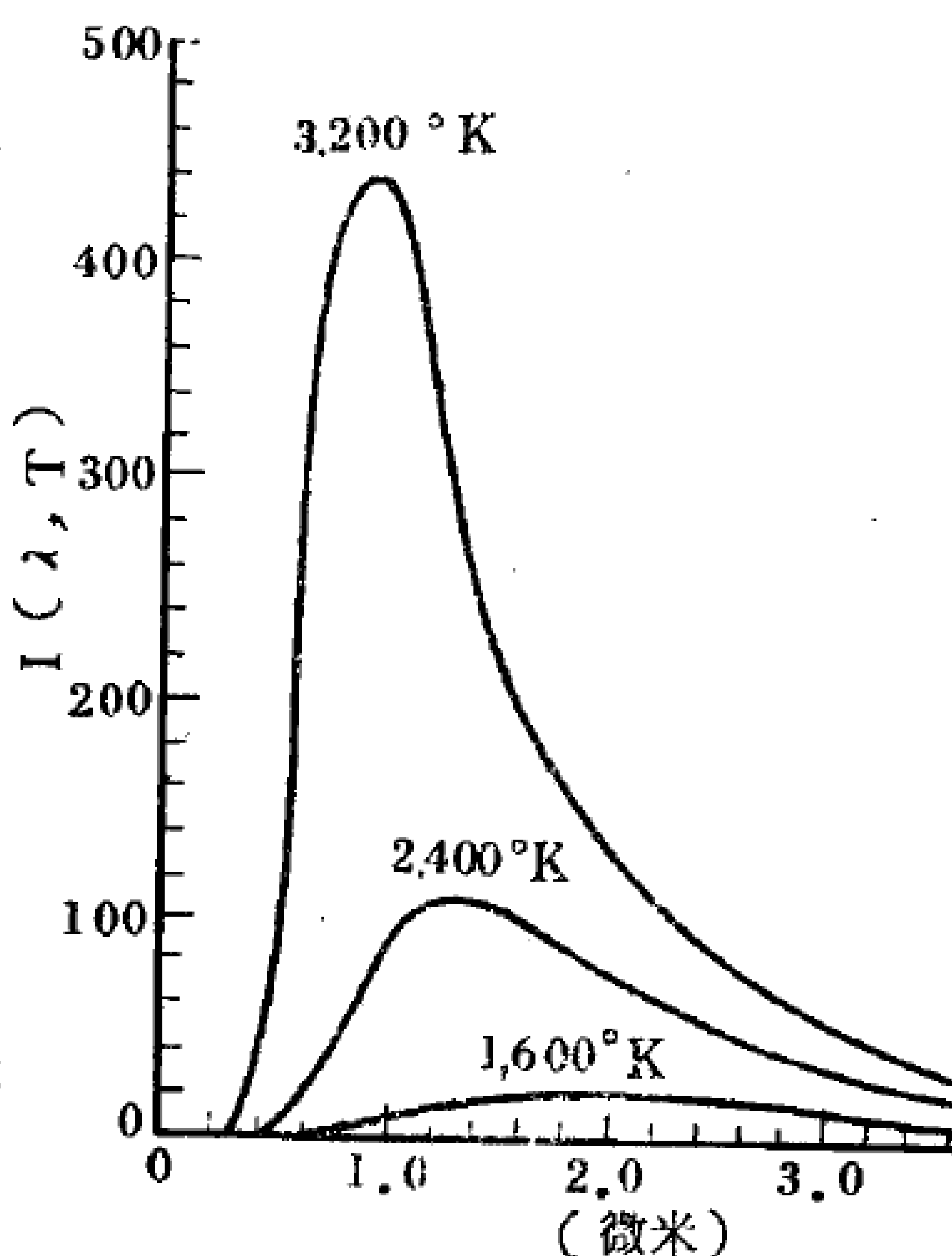


圖 12 — 301

1893 年，維恩（*Wien*）首證明在完全黑體之輻射譜中，其含能量最多之波長 λ_m 與黑體之絕對溫度之乘積爲一常數，即

$$\lambda_m T = b \qquad (2)$$

如 λ_m 以厘米計，則此中之常數 b 之值，約爲 0.2884 。

但（1）與（2）兩式，僅能表示圖 12—301 中各曲線之頂點位置，及曲線下之面積。至於各曲線之形式，則尚未能表出。1896 年，維恩復用相當近理之假設而求得一公式以表示黑體發射波長λ之能率E，及其絕對溫度T三者之關係。維恩之公式爲：

$$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \qquad (3)$$

此式中C_1與C_2均爲常數，而e則表自然對數之底，即$e = 2.718$。自維恩之第二公式，用微積分學方法即可推出（1）與（2）兩式。惟由（3）式所計得之結果，用之於輻射譜中之可見區域，與實驗固甚適合，若用之於波長較長之區域內，則相差甚遠。

維恩之第二公式既不足以表示實驗結果之全部，瑞立（*Rayleigh*）與詹士（*Jeans*）先後曾改用他種假設以求此題之答案。其所得之公式爲

$$E_\lambda = \frac{2\pi C_1}{\lambda^4} k T \qquad (4)$$

此式中之k表每個氣體分子之常數，即氣體常數與亞弗加厥（*Avogadro*）數目N之商，其值約爲1.37×10^{-16}。此結果在波長較長之區域內，雖較優於（3）式，惟用於短波之範圍內，則與事實相差甚遠。且此公式表示若λ無限減小，則E_λ無限增加，而不能有一極大之值。此外，此(4)式所表示之總能量E亦爲無限大。此二事與維恩遷移律及史特凡之四方律均不符。在1899年時，陸末與浦林謝以更精密之實驗方法，證實其實驗上所得之能量分配關係實無可非議之處。1900年浦朗克指出若將維恩公式稍加修改，即可精密符合數據。十月十九日他對柏林物理學會發表的公式爲：令ν示輻射之頻率，E_ν表黑體輻射此頻率之機率，T表示絕對溫度，則E_ν與ν及T二變數之關係爲：

$$E_\nu = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^{-1} \qquad (5)$$

h爲一普遍常數，其值約等於6.56×10^{-27}爾格秒，c爲光之速度，k與e之意義與（4）式同。若以波長表示此關係，則浦朗克公式爲：

$$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5}\left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1\right)^{-1} \quad (6)$$

式中之C_1與C_2，其值與（３）式中之值相等，$C_1 = 3.72 \times 10^{-15}$，$C_2 = 4.9656$。浦朗克之公式可視作包括維恩與瑞立、詹士兩公式，蓋當波長係甚短而溫度不過高時，$e^{\frac{C_2}{\lambda T}}$ 與１相比，較大遠甚，故（６）式遂與（３）式相同。若波長較長，而溫度T較高，則將 $e^{\frac{C_2}{\lambda T}}$ 展成級數，而將（$\frac{1}{\lambda T}$）之平方及各高次冪略去，即可推得瑞立、詹士公式。

此式雖能很成功地符合輻射能量分佈圖上的數據，但在當時只是一個經驗公式，並不成其為理論。

為了要從理論上推出此公式，浦朗克假設構成腔壁的原子其行徑像極小的電磁振子，各振子均有一振盪的特性頻率。振子發射電磁能量於空腔中，並自空腔中吸收電磁能量，因此應能由在輻射平衡狀態之振子的特性而推論空腔輻射的特性。

而關於原子的振子，浦朗克曾作兩項根本的假設，這假設最後簡述之如下：

1. 振子不能為“任何能量”只能為

$$E = nh\nu \quad (7)$$

其中ν為振子頻率，h為常數（現稱為浦朗克常數），n只能為整數（現稱為量子數），（７）式斷言振子能量是量子化者。

2. 振子並不連續放射能量，僅能以“跳躍”方式放射，或“量子式”放射。當振子自一量子化能量狀態改變至另一態時，即放出能量量子，因之，當n改變一單位時，放射之能量為

$$\Delta E = \Delta n h\nu = h\nu$$

只要振子仍在同一量子化狀態，則既不放射能量也不吸收能量。

此二假設完全與古典物理學的原理背道而馳，為一革命性的創見，即使他本人也抱著懷疑的態度，不敢衷心接受，但其想法卻迅即受到愛因斯坦的支援，愛氏並於 1905 年應用此種觀念揭開了光電效應的謎底。

黑體輻射的問題並未因此而壽終正寢，其正確而令人滿意的解釋還有賴波司、愛因斯坦統計法（*Bose-Einstein statistics*）的應用。因光子的化學位為零，光子在量子態能量為 $h\nu_s$，依波司、愛因斯坦律為

$$n_s = \frac{1}{exp\left(\frac{h\nu_s}{kT}\right) - 1}$$

計數光子頻率在 ν 與 $\nu + d\nu$ 間的量子態可得到浦朗克輻射公式。首先輻射在頻率 ν 與 $\nu + d\nu$ 間的能量為

$$dE(\nu) = \frac{8\pi hV}{c^3} \frac{\nu^3 d\nu}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

式中 V 表示體積。

所以單色光的能量強度依定義應為

$$u(\nu) = \frac{dE(\nu)}{Vd\nu} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

輻射強度則為

$$I(\nu) = \frac{c}{4\pi} \cdot u(\nu) = \frac{2h}{c^2} \frac{\nu^3}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

由這些推導的式子可知：

1. 黑體輻射是均勻且各向同性的，輻射的強度是溫度及頻率的函數。

2. 上述的函數與為達成熱平衡而必須存在的物體本性無關。

這些結果與實驗的觀察完全一致。